



MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA DO AMBIENTE 2016/2017

**INFLUÊNCIA E PREVISÃO DO RUÍDO SOCIAL EM MEIO URBANO - CASO DE
ESTUDO: RUA DAS FLORES (PORTO)**

FRANCISCO TOSCANO PESSOA RAMOS PINHEIRO

Dissertação submetida para obtenção do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA DO AMBIENTE

Presidente do Júri: Cidália Maria de Sousa Botelho

(Professora Doutora do Departamento de Engenharia Química da Faculdade de Engenharia
da Universidade do Porto)

Orientadora académica: Cecília Alexandra Abreu Coelho da Rocha

(Professora Doutora do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de
Engenharia da Universidade do Porto)

OUTUBRO DE 2017

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA DO AMBIENTE 2016/2017

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

Tel. +351-22-508 1884

Fax +351-22-508 1449

✉ catc@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente - 2016/2017 - Departamento de Engenharia Química, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2017*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

A meus Pais

Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar.

Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota.

Madre Teresa de Calcutá

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por Ele ser a minha força e por todo o meu caminho até aqui.

Quero agradecer do fundo do meu coração aos meus Pais. Sem o seu sacrifício, apoio e educação não teria conseguido chegar onde cheguei. Agradeço aos meus irmãos pelo apoio que me deram.

Agradeço também muito à Helena pelo seu apoio e motivação e por tanto me ter ajudado em muitas tarefas desta dissertação.

Quero agradecer todo o apoio e acompanhamento ao longo deste período:

Em especial à professora Cecília Rocha, pela sua orientação, ajuda, boa disposição e prontidão.

À Filipa e ao Hugo pela ajuda nas contagens de pessoas e na recolha de dados. Obrigado pela vossa disponibilidade e bom humor!

Ao Engenheiro António Costa, do Laboratório de Acústica, pela ajuda nas medições na Câmara Acústica e pela recolha de dados.

Ao Diogo e ao Hugo por me terem ajudado nas medições na Câmara Acústica do Laboratório de Acústica tendo sido voluntários.

À professora Sara Ferreira por me ter ajudado nas previsões e estimativas das pessoas contadas.

Ao professor António Oliveira de Carvalho que, graças às suas interessantes aulas de Acústica Ambiental, também me levou a escolher um tema para a dissertação relacionado com Acústica.

A toda a minha família e amigos pelo apoio, motivação e compreensão incansável.

Por fim, mas não menos importante, quero agradecer a todos os que de uma maneira ou outra contribuíram para o desenvolvimento do meu trabalho.

Muito Obrigado!

RESUMO

Atualmente, a poluição sonora é um fator muito importante a ter em conta na sociedade, uma vez que afeta o bem-estar e a qualidade de vida da população de hoje em dia. Tudo se deve ao facto de o ser humano estar sujeito a todo o tipo de estímulos sonoros no seu dia a dia. Para que o ruído ambiente e os seus efeitos na saúde humana possam ser minimizados, é necessário que se faça a sua monitorização, se realizem estudos de caracterização e previsionais de eventuais impactes e das consequências que tal nível de ruído possa ter na vida das pessoas.

Nesta dissertação, procedeu-se à caracterização da Rua das Flores (Porto), relativamente às diversas fontes de ruído aí existentes. Focou-se, essencialmente, nas atividades aí presentes e nas fontes sonoras de cariz mais social, com o propósito final de caracterizar o nível sonoro a que as pessoas que por aí circulam, trabalham ou realizam visitas, estão sujeitas e avaliar a potencial interferência com as suas atividades e conforto.

Depois da avaliação inicial da rua e de se terem reconhecido como preponderantes algumas fontes sonoras em presença, como a marcha e tipo de calçado dos transeuntes, atuação dos artistas de rua e ocorrência de diversas obras de reabilitação do edificado existente, foi necessário caracterizá-las acusticamente. Para tal, na câmara reverberante do Laboratório de Acústica da FEUP, criaram-se as condições necessárias para simular as características acústicas da Rua das Flores, nomeadamente, quanto ao tempo de reverberação e realizaram-se medições de caracterização acústica, por bandas de terço de oitava, de algumas dessas fontes sonoras, no caso, as relativas à marcha e ao tipo de calçado. Dessa avaliação inicial, concluiu-se que o calçado feminino tende a ser mais ruidoso que o masculino, que no calçado masculino prevalecem emissões associadas a frequências médias-baixas e que o tipo de marcha adotado pelos peões também influencia não só a emissão sonora como as frequências do próprio ruído emitido.

A caracterização da Rua das Flores (Porto) também incluiu informação sobre o número e distribuição de peões, não só ao longo da própria rua como consoante a hora do dia. Procedeu-se, então, à contagem das pessoas que passavam, em cinco localizações selecionadas, nas quais se identificou o “volume” de peões, a sua repartição por sexo e o respetivo tipo de calçado. Concluiu-se que o “volume” de peões, talvez atendendo à época do ano em que foi feita a presente avaliação (primavera/verão) não apresenta variações significativas entre dias da semana e de fim-de-semana, que há uma composição equitativa de peões segundo o sexo (51% do sexo feminino e 49% masculino) e que, tendencialmente, as pessoas se deslocam com um calçado mais confortável, como sapatilhas e equivalentes, que representam cerca de 42% do universo de opções consideradas. Para além disso foram feitas, em simultâneo, medições do ruído com o sonómetro, tendo-se registado os valores de L_{Aeq} , do espectro por bandas de terço de oitava e anotado as fontes prevalecentes em cada localização.

De seguida, os dados foram introduzidos no programa de simulação acústica, *CadnaA* que permitiu fazer uma modelação do nível de ruído ambiente na Rua das Flores, de forma sequencial, que possibilitou a avaliação individualizada das fontes sonoras em ação e do seu contributo para o nível sonoro final. Tal modelação permitiu concluir que a marcha das pessoas não assume uma relevância fundamental no ambiente sonoro resultante, que a conversa entre transeuntes se constitui uma fonte sonora relevante e que, acima de tudo, as atividades ligadas aos artistas de rua e à presença das obras de reabilitação do edificado são as principais condicionantes dos níveis de ruído ambiente medido.

PALAVRAS-CHAVE: Ruído ambiente, Incomodidade, Previsões de ruído, Rua das Flores, Modelação acústica.

ABSTRACT

Nowadays, noise pollution is a very important issue to consider in society, as it affects the well-being and the quality of life of the population. It all dues to the fact that human being is subject to all kind of sound stimulus in his daily life. In order to minimize the environmental noise and its effects on human health, monitoring, characterization and predictive studies of possible impacts and the consequences of such noise in people's lives should be carried out.

In this dissertation, the *Rua das Flores (Porto)* was characterized in what concerns to the various noise sources in that street. It focused, essentially on the activities and sound sources with a prevailing social nature, with the final purpose of characterizing the noise level that people visiting the area, work there or just passing by are exposed to and also to evaluate the potential interference with their activities and comfort.

After the initial evaluation of the street and the acknowledgment of the principal sound sources, such as the march and type of footwear of the pedestrians, the performance of the street artists and the presence of various construction works for the rehabilitation of existing buildings, it was necessary to characterize them acoustically. To do so, in the reverberated chamber of the *Laboratory of Acoustics in FEUP*, the necessary conditions were formed to simulate the acoustic characteristics of *Rua das Flores*, mainly regarding the reverberation time. Then, the measurements for the acoustic characterization took place, with third-octave bands measurements of some of those noise sources, in this case, the ones linked to marching and footwear. From this first evaluation, one could notice that the female footwear tends to be louder than the male one; in male footwear the emissions associated with low to medium frequencies are dominant; and that the pedestrians way of walking has a strong influence, not only in noise emission, but also influences the frequencies of the noise itself.

Rua das Flores' characterization also includes information about the number and distribution of the pedestrians, along the street and according to the time of the day. The following step, included people counting, in five selected locations of the street, meaning "volume" of pedestrians, distribution by gender and distribution according to the footwear. One of the conclusions shows that the "volume" of pedestrians, perhaps considering the time of the year in which this evaluation was made (spring / summer) does not show significant variations between weekdays and weekend. Also, that there is an equitable composition of pedestrians according to gender (51% female and 49% male) and that people tend to walk with more comfortable footwear, such as sneakers and equivalents, which represent about 42% of the universe of options considered. At the same time, noise measurements were made with the sound level meter, recording L_{Aeq} values and the spectrum by third octave bands, including all the sources prevailing at each location.

Afterwards, with the program of acoustic simulation, CadnaA and the collected data, was modelled the environmental noise level in *Rua das Flores*, in a predefined sequence, enabling to individualize the evaluation of different sound sources in action and their contribution to the final sound level. Such modeling allowed concluding that people walking the street does not assume a fundamental relevance in the resulting environmental noise level, that the conversation between pedestrians constitutes a relevant sound source and, above all, the activities related to street performers and the presence of construction works for the rehabilitation of buildings are the main factors of measured environmental noise levels.

PALAVRAS-CHAVE: Environmental Noise, Annoyance, Noise Predictions, *Rua das Flores*, Acoustic Modulation.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	III
RESUMO.....	V
ABSTRACT	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE QUADROS	XI
SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS.....	XIII

1 INTRODUÇÃO..... 1

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	1
1.2. OBJETIVOS.....	2
1.3. METODOLOGIA DE ABORDAGEM	2
1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO	3

2 ACÚSTICA AMBIENTAL: CONCEITOS5

2.1. INTRODUÇÃO.....	5
2.2. CARACTERIZAÇÃO DE UM SOM	5
2.3. SISTEMA AUDITIVO.....	8
2.4. EFEITOS DO RUÍDO	9
2.5. ACÚSTICA DE EXTERIORES	9
2.5.1. INTRODUÇÃO.....	9
2.5.2. ATENUAÇÃO POR DIVERGÊNCIA GEOMÉTRICA	10
2.5.3. ATENUAÇÃO DEVIDA AO AR.....	10
2.5.4. ATENUAÇÃO DEVIDA À ABSORÇÃO PELO SOLO	11
2.5.5. ATENUAÇÃO PELA AÇÃO DOS GRADIENTES DE TEMPERATURA E DA VELOCIDADE DO VENTO.....	11
2.5.6. ATENUAÇÃO PELA PRESENÇA DE OBSTÁCULOS	12
2.6. REGULAMENTO GERAL DO RUÍDO (RGR).....	12

3 ESTADO DA ARTE.....15

3.1. INTRODUÇÃO.....	15
3.2. RUÍDO SOCIAL: GRANDES AGLOMERAÇÕES DE POPULAÇÃO.....	15
3.3. PEÕES: CONTAGENS E ESTIMATIVAS	16

4 CARACTERIZAÇÃO DA EMISSÃO SONORA DO CAMINHAR PEDESTRE	19
4.1. INTRODUÇÃO	19
4.2. ENSAIOS NA CÂMARA ACÚSTICA DO LABORATÓRIO DE ACÚSTICA DA FEUP	19
4.3. ANÁLISE DE RESULTADOS.....	20
5 CASO DE ESTUDO: RUA DAS FLORES	27
5.1. INTRODUÇÃO HISTÓRICA	27
5.2. A ESCOLHA DA RUA DAS FLORES	28
5.3. CARACTERIZAÇÃO DA RUA DAS FLORES	28
5.4. ANÁLISE DOS DADOS PRELIMINARES RECOLHIDOS.....	32
5.4.1. CONTEXTO.....	32
5.4.2. MEDIÇÕES DE RUÍDO AMBIENTE	33
5.4.3. CONTAGENS DE PEÕES NA RUA DAS FLORES	34
5.4.3.1. Contagens.....	34
5.4.3.2. Previsões e estimativas	36
6 MODELAÇÃO DO NÍVEL DE RUÍDO AMBIENTE NA RUA DAS FLORES	43
6.1. INTRODUÇÃO	43
6.2. SIMULAÇÃO INICIAL (S1)	43
6.3. SEGUNDA SIMULAÇÃO (S2): MARCHA E CONVERSA ENTRE PEÕES	49
6.4. SIMULAÇÃO (S3): TODAS AS FONTES SONORAS EM PRESENÇA.....	52
7 CONCLUSÕES.....	61
7.1. PRINCIPAIS CONCLUSÕES	61
7.2. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	62
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63
ANEXO.....	65
ANEXO A	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Pressão sonora p e níveis de pressão sonora L_p , adaptado de [3].....	6
Figura 2 – Distribuição das gamas de frequências de um som, incluindo as gamas audíveis por seres humanos [4].....	6
Figura 3 - Curvas de ponderação (filtros) A, B, C e D [2]	7
Figura 4 - Esquema do ouvido humano, extraído de [5].....	8
Figura 5 - Exemplos de fontes de ruído pontual (à esquerda) e linear (à direita) [3].....	10
Figura 6 - Efeito da temperatura com a altura, adaptado de [3]	11
Figura 7 – Número de peões em Tóquio em função das horas, adaptado de [14].....	17
Figura 8 – Ajuste da distribuição dos peões ao longo do dia em Washington [15]	17
Figura 9 – Mapa de Ruído correspondente ao planeamento sonoro estratégico de área de estudo em Pequim, com alteração da paisagem sonora correspondente [16].....	18
Figura 10 – Câmara reverberante onde foram realizadas as medições de caracterização da marcha de peões (incluindo variações no tipo de calçado), já adaptada para condições semelhantes às da Rua das Flores.	20
Figura 11 – Resultados dos ensaios de caracterização da emissão sonora da marcha de peões do sexo feminino, de acordo com o tipo de calçado usado	21
Figura 12 – Resultados dos ensaios de caracterização da emissão sonora da marcha de peões do sexo masculino, de acordo com o tipo de calçado usado	21
Figura 13 – Comparação da média dos resultados obtidos para os diferentes tipos de calçado e de marcha, de acordo com o sexo	23
Figura 14 - Comparação da média dos resultados obtidos para calçado do tipo “formal” (incluindo salto altos mais largos no caso do sexo feminino), de acordo com o sexo	24
Figura 15 - Comparação da média dos resultados obtidos para calçado do tipo “sapatilha” (incluindo sandálias no caso do sexo masculino), de acordo com o sexo	24
Figura 16 – Rua das Flores [18,19].....	28
Figura 17 – Rua das Flores (sinalizada), adaptado de [19].....	29
Figura 18 – Atividades económicas existentes na Rua das Flores, adaptado de [19].....	31
Figura 19 – Diferentes troços considerados para a Rua das Flores [19].....	32
Figura 20 - Representação gráfica da localização dos cinco pontos de contagem e medição considerados para a Rua das Flores [imagem do autor].	33
Figura 21 - Distribuição horária média anual de peões em Montpelier (Vermont, USA), segundo Aultman-Hall [20].....	37
Figura 22 - Distribuição média horária final, ajustada à realidade da Rua das Flores.....	39
Figura 23 - Comparação dos fluxos pedestres do fim de semana e da semana na Rua das Flores....	41
Figura 24 – Mapa de Ruído do indicador de ruído L_{den} da simulação inicial (apenas com a consideração da passagem dos peões) na Rua das Flores.....	46
Figura 25 - Mapa de Ruído do indicador de ruído L_n da simulação inicial (apenas com a consideração da passagem dos peões) na Rua das Flores.....	47
Figura 26 - Mapa de Ruído do indicador de ruído L_{den} da simulação S2 (com a consideração da passagem dos peões e conversa entre eles) na Rua das Flores.....	50
Figura 27 - Mapa de Ruído do indicador de ruído L_n da simulação S2 (com a consideração da passagem dos peões e conversa entre eles) na Rua das Flores.....	51
Figura 28 – Mapa de Ruído do indicador de ruído L_{den} da influência das obras no recetor localizado na Ourivesaria Baptista (Rua das Flores) (cruz laranja indica as obras)	54

Figura 29 - Mapa de Ruído do indicador de ruído L_{den} , contemplando a influência dos músicos no recetor localizado no ponto 5 na Rua das Flores (cruz verde indica artistas de rua)	56
Figura 30 - Mapa de Ruído do indicador de ruído L_{den} da simulação S3 (com a presença de todas as fontes sonoras) na Rua das Flores(cruz laranja indica obras e cruz verde indica artistas de rua) ..	57
Figura 31 - Mapa de Ruído do indicador de ruído L_n da simulação S3 (com a presença de todas as fontes sonoras) na Rua das Flores (cruz laranja indica obras e cruz verde indica artistas de rua)	58

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Valores do coeficiente de atenuação atmosférica (dB/km), adaptado de [2, 8].....	11
Quadro 2 – Valores-limite de Exposição em função da Classificação de Zonas, adaptado de [9]	13
Quadro 3 – Espectros, por banda de oitava, considerados na simulação acústica para calçado do sexo feminino	22
Quadro 4 - Espectros, por banda de oitava, considerados na simulação acústica para calçado do sexo masculino.....	23
Quadro 5 – Resumo das observações recolhidas no trabalho de campo, na Rua das Flores	30
Quadro 6 – Resumo das medições de ruído ambiente realizadas na Rua das Flores.....	34
Quadro 7 – Caracterização dos momentos de contagem de peões e de monitorização do ruído ambiente, a 8 de junho	36
Quadro 8 – Resumo das contagens de peões para o dia 8 de junho 2017.....	36
Quadro 9 - Caracterização dos momentos de contagem de peões e de monitorização do ruído ambiente, em 1 de julho.....	38
Quadro 10 - Resumo das contagens de peões para o dia 1 de julho.....	38
Quadro 11 – Estimativa da distribuição média horária anual de peões, na Rua das Flores, considerando as contagens realizadas e a distribuição média horária ajustada, para um dia do fim-de-semana	40
Quadro 12 - Estimativa da distribuição média horária anual de peões, na Rua das Flores, considerando as contagens realizadas e a distribuição média horária ajustada, para um dia da semana	40
Quadro 13 – Estimativa da média horária de passagens de peões, na Rua das Flores, para um dia da semana e de fim-de semana	41
Quadro 14 – Valores da percentagem de homens que circulavam na Rua das Flores com o tipo de calçado indicado.....	44
Quadro 15 - Valores da percentagem de mulheres que circulavam na Rua das Flores com o tipo de calçado indicado.....	45
Quadro 16 – Valores médios do tráfego médio horário (TMH) de peões, nos períodos diurno, entardecer e noturno, ao longo dos cinco pontos de contagem da Rua das Flores	45
Quadro 17 – Valores previstos de L_{den} e L_n para a simulação inicial (para todos os recetores)	48
Quadro 18 – Valores previstos de L_{den} para a simulação inicial (registados por cada recetor), de acordo com a contribuição de cada fonte sonora modelada	48
Quadro 19 - Espectro da palavra para os dois sexos a 1 metro de distância, adaptado de [21].....	49
Quadro 20 - Valores previstos de L_{den} e L_n para a simulação S2 (para todos os recetores)	52
Quadro 21 - Valores previstos de L_{den} para a simulação S2 (registados por cada recetor), de acordo com a contribuição de cada fonte sonora modelada (H: Homem e M: Mulher).....	52
Quadro 22 – Valores médios extraídos dos períodos de medição na Rua das Flores, correspondentes a ruído proveniente exclusivamente das obras de reabilitação, nos pontos 3 e 4	53
Quadro 23 – Valores médios extraídos dos períodos de medição, correspondentes a ruído proveniente exclusivamente dos períodos de música nos pontos 1, 2 e 5.....	55
Quadro 24 - Valores previstos de L_{den} e L_n na simulação S3 (para todos os recetores)	59
Quadro 25 - Valores previstos de L_{den} para a simulação S3 (registados por cada recetor para cada fonte)	59
Quadro 26 – Comparação dos valores de L_{Aeq} medidos e dos valores de L_{den} estimados.....	60

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

°C - graus celsius, unidade de temperatura

A - atenuação, em dB

c - celeridade ou velocidade de propagação do som no ar, em m/s

d - comprimento do trajeto efetuado pela onda sonora, em km

dB – decibel

dB(A) - decibel A

DL - Decreto-lei

f – frequência de um som, em Hz

HR - humidade relativa

Hz - hertz, unidade de frequência

LAFEUP – Laboratório de Acústica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

L_d – indicador de ruído diurno (7h às 20h), em dB(A)

L_{den} - indicador de ruído diurno-entardecer-noturno, em dB(A)

L_e - indicador de ruído do entardecer (20h às 23h), em dB(A)

L_{eq} - nível de pressão sonora contínua equivalente, em dB

L_n - indicador de ruído noturno (23h às 7h), em dB(A)

L_N - nível de pressão estatístico, em dB

L_p - nível de pressão sonora, em dB

LSD - Largo de S. Domingos

L_w - nível de pressão sonora do emissor, em dB

m - metro, unidade de comprimento

mm - milímetro, unidade de comprimento

p - pressão, em Pa

p_0 - valor de pressão sonora de referência, 2×10^{-5} Pa

Pa - pascal, unidade de pressão

PAG - Praça Almeida Garrett

PDM - Plano Diretor Municipal

PMOT - Planos Municipais de Ordenamento do Território

PMRR - Planos Municipais de Redução de Ruído

PU - Plano de Urbanização

RF - Rua das Flores

RGR - Regulamento Geral do Ruído

s - segundo, unidade de tempo

SIG - Sistemas de Informação Geográfica

T - período, em segundos

TMH – Tráfego médio horário

TMHd – Tráfego médio horário diurno

TMHe – Tráfego médio horário do entardecer

TMHn – Tráfego médio horário noturno

α - coeficiente de atenuação atmosférica, em dB/km

λ - comprimento de onda, em metros

1

INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Atualmente, o ruído ambiental é um fator de extrema importância a ter em conta numa cidade. Considerando que a cidade do Porto é a segunda maior do país e que, apesar de ter vindo a sofrer uma redução da população residente nos últimos anos, tem visto aumentar a afluência à cidade, torna-se ainda mais imprescindível a aferição das consequências que o ruído poderá ter na vida e saúde das pessoas. O Porto está a tornar-se uma cidade mais cosmopolita que, além dos seus residentes, está cheia de turistas e de pessoas vindas do estrangeiro ou de outras zonas do país, para visitar a cidade e a sua cultura, estudar, trabalhar ou até viver.

O Porto ganhou, em 2017, o prémio de Melhor Destino Europeu 2017 (*European Best Destination 2017*) [1]. Esta distinção veio engrandecer a cidade e como tal, a riqueza do seu património, os seus monumentos, os seus espaços artísticos e culturais, o Vinho do Porto, os espaços de lazer ao ar livre e a cultura motivam muitas das deslocações a esta cidade.

O Porto não é destino de eleição apenas para aqueles que, com curiosidade, pretendem conhecer a cidade pela primeira vez. É, também, o destino escolhido por todos os que tendo por ela passado, querem voltar para redescobrir uma cidade que é ao mesmo tempo moderna e autêntica. Em 1996, o centro histórico do Porto foi classificado pela UNESCO como Património Mundial [1].

O mar e o rio Douro brindam a cidade, tornando as esplanadas convidativas e trazendo todos os prazeres do ar livre com os seus espaços verdes. Sair para descobrir o Porto significa deixar-se surpreender. As ruas são o palco da cidade, onde tem lugar a animação genuína da sua gente. À noite, o Porto transforma-se numa cidade nova e diferente, com oportunidades de entretenimento e lazer que chegam para todos os gostos e idades [1].

A zona histórica do Porto é, sem dúvida, a mais visitada, uma vez que é a zona mais atrativa para os turistas e outros visitantes. Os locais também costumam frequentar a zona para atividades de lazer e atividades ligadas ao comércio.

É neste contexto que se considera relevante o trabalho que se apresenta nesta dissertação. A zona histórica do Porto, na qual se enquadra a Rua das Flores, é uma rua com grande importância histórica e uma das mais frequentadas da baixa. Apesar de ser praticamente uma rua sem trânsito automóvel, está longe de ser uma rua silenciosa. É, aliás, exatamente o oposto. A multiplicidade de fontes sonoras, a presença de turistas e locais e respetivas atividades induzem em níveis sonoros quase comparáveis aos que se verificam em meios que se consideram naturalmente ruidosos (como a proximidade a vias de tráfego). Por esta razão, é ainda mais importante fazer este tipo de estudos que permite prever o nível de ruído em meio urbano, mesmo que independente das “fontes de ruído tradicionais”, de modo a aferir as suas consequências, tanto para a população residente, como trabalhadora ou visitante.

1.2. OBJETIVOS

Esta dissertação teve como principal objetivo a caracterização da Rua das Flores no que diz respeito às diversas fontes de ruído existentes, em particular às fontes sonoras de cariz mais social, às atividades que aí se desenvolvem e ao conforto acústico de turistas, residentes, trabalhadores e transeuntes.

Foram identificadas as fontes sonoras mais usuais, as atividades mais frequentes e os respetivos níveis sonoros, assim como se procedeu à caracterização particular de algumas fontes sonoras – nomeadamente em relação às diferentes emissões sonoras associadas:

- tráfego pedestre e calçado dos transeuntes;
- artistas de rua;
- obras de reabilitação do edificado existente.

A Rua das Flores também foi caracterizada quanto ao “volume” de peões que lá circulavam. Para tal realizaram-se diversas contagens em dias e pontos selecionados criteriosamente, de modo a que fosse possível proceder a uma posterior estimativa, estendida às 24h do dia.

1.3. METODOLOGIA DE ABORDAGEM

Para a elaboração da presente dissertação definiu-se um conjunto de tarefas que, de forma sequencial, permitiram atingir os objetivos enunciados no ponto anterior.

Assim, após a descrição do estado da arte relativo ao tema, passou-se para a caracterização física da Rua das Flores (ou seja, recolha de dados sobre o edificado existente e sobre as atividades que se desenrolam).

Posteriormente, e tendo constatado que a presença de peões era um dos elementos mais marcantes desta rua, considerou-se que seria necessária uma caracterização mais aprofundada das fontes sonoras associadas ao peão: o seu andar (inclui o tipo de calçado e tipo de marcha) e as conversas que se ouviam à sua passagem. Para tal, foram realizadas, no Laboratório de Acústica da FEUP, medições de caracterização da emissão sonora associada ao calçado e ao tipo de marcha de elementos masculinos e femininos, para as quais se procurou ajustar o tempo de reverberação da câmara reverberante a condições semelhantes às que se viveriam na Rua das Flores, na qual grande parte das superfícies são refletoras. Dessa caracterização obtiveram-se os espectros, por bandas de 1/3 de oitava, de vários tipos de calçado, por sexo do peão.

Seguidamente, procedeu-se à contagem de peões em cinco localizações distribuídas ao longo da Rua das Flores que incluíam o Largo de S. Domingos e a Praça Almeida Garrett. Nesses pontos, além das contagens de peões, também se apresentam os resultados da monitorização do ambiente sonoro realizado simultaneamente.

Na posse dos dados resultantes do trabalho de campo, passou-se a uma fase de estimativa da distribuição da população segundo as diferentes horas do dia e, de seguida, à sua repartição por sexo e por tipo de calçado.

A etapa seguinte passou pela modelação das diferentes fontes sonoras através de um programa de simulação acústica (*CadnaA*). Na primeira sessão de modulação inseriram-se as fontes associadas à marcha dos peões; seguiu-se o acréscimo das fontes associadas à conversa entre peões e finalmente à introdução de outras fontes sonoras como as obras em curso e a atuação de artistas de rua. Comparou-

se esta versão final de simulação com os resultados da monitorização que decorreu durante o trabalho de campo, para verificar se o modelo utilizado se aproximava da realidade constatada e medida.

A análise dos resultados obtidos permitiu tirar algumas ilações sobre o cumprimento dos limites legais, nas atuais circunstâncias e a constatação da contribuição de cada tipo de fonte sonora para o ruído ambiente medido.

1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta dissertação encontra-se dividida em sete capítulos, cuja breve descrição se passa a enunciar.

No primeiro e presente capítulo – **Introdução**, faz-se uma introdução do trabalho e também se descrevem os objetivos a atingir e a estrutura do documento.

O segundo capítulo, **Acústica Ambiental: Conceitos**, apresentam-se conceitos gerais sobre acústica ambiental relevantes para esta dissertação e também alguma da atual legislação relativa ao ruído ambiente.

No terceiro capítulo, **Estado da Arte**, apresentam-se alguns dos artigos escritos e trabalhos realizados relacionados com o tema desta dissertação, principalmente no que respeita a metodologia de captação e previsão de ruído emitido pelo ser humano e estimativas e contagens de pessoas.

No quarto capítulo, **Caracterização da emissão sonora da “marcha dos peões”**, é apresentada a caracterização, bem como análises dos resultados relativos aos ensaios feitos na Câmara Reverberante do Laboratório da Acústica da FEUP.

O quinto capítulo, **Caso de estudo: Rua das Flores**, apresenta uma introdução histórica do caso específico deste estudo, bem como o motivo da escolha, a caracterização da rua em termos de edificado e de atividades económicas, os resultados do trabalho de campo que inclui as contagens de peões e a monitorização de ruído ambiente e a análise desses dados.

O sexto capítulo, **Modelação do nível de ruído ambiente na Rua das Flores**, está relacionado com as estimativas de ruído ambiente para a Rua das Flores, conseguidas pela utilização do programa de simulação acústica (*CadnaA*), no qual se inseriram os dados resultantes do trabalho de campo e posteriores estimativas de “tráfego pedestre”, assim como os resultados dos ensaios realizados na câmara reverberante do LAFEUP e das diversas monitorizações efetuadas na Rua das Flores. São apresentadas as simulações feitas para três situações, representativas da crescente incorporação de fontes na simulação, com o objetivo de se chegar à realidade em presença e respetivas análises.

No sétimo e último capítulo, **Conclusões**, são apresentadas as principais conclusões deste trabalho e também algumas sugestões para eventuais trabalhos posteriores.

2

ACÚSTICA AMBIENTAL: CONCEITOS

2.1. INTRODUÇÃO

O som é algo que já faz parte do nosso dia-a-dia. O que habitualmente se designa pelo termo *som* não é senão uma sensação provocada no cérebro devida à captação, pelo sistema auditivo, de alterações de pressão que se propagam no ar (ou noutro meio elástico tal como água, materiais de construção sólidos, etc.), que consistem em ondas de compressão seguidas de ondas de dilatação ou rarefação [2].

Correspondendo o som a uma sensação, há sons desagradáveis ou sem significado que, por muitos ouvintes, são designados por *ruído* e outros que são considerados agradáveis ou com significado e que habitualmente são denominados *som*. Esta dupla interpretação, manifesta a subjetividade desta classificação, uma vez que o que é som para uns pode ser ruído para outros e vice-versa.

2.2. CARACTERIZAÇÃO DE UM SOM

Um dado som pode ser caracterizado, essencialmente, por três grandezas de natureza distinta: pressão sonora, frequência e tempo de duração.

À variação entre a pressão ambiente instantânea e a pressão atmosférica ($\approx 10^5$ Pa) dá-se o nome de *pressão sonora*.

O ouvido do ser humano apresenta uma sensibilidade deveras elevada em relação à pressão sonora. O valor mais baixo de pressão sonora, audível por uma pessoa, é de aproximadamente 10^{-5} Pa (valor também conhecido por *limiar da audição*). Por outro lado, o valor máximo é de 100 Pa (denominado *limiar da dor*). Isto demonstra que a gama de audibilidade humana, em termos de pressão sonora, é de 10^7 Pa.

Visto que a escala linear de pressão sonora, em Pa, é muito alargada, convencionou-se utilizar outra unidade de medida, denominada decibel (dB), que envolve uma escala logarítmica e é consideravelmente mais prática, como se pode observar na Figura 1.

Para realizar tal conversão, utiliza-se, a Eq. 1 que converte pressões (Pa) em níveis de pressão sonora (dB):

$$L_p = 20 \log \frac{p}{p_0} \quad \text{Eq. 1}$$

em que,

- L_p corresponde ao nível de pressão sonora;
- p_0 é o valor de pressão sonora de referência, 2×10^{-5} Pa.

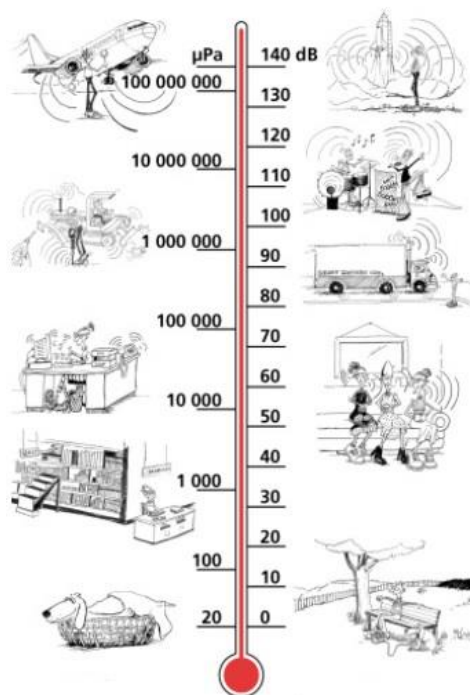


Figura 1 - Pressão sonora p e níveis de pressão sonora L_p , adaptado de [3]

A *frequência* de um som também é importante na sua análise. Esta mede-se em *hertz* (Hz) e representa a taxa de ocorrência das flutuações completas de pressão por segundo (número de ciclos completos por segundo). Os seres humanos ouvem entre os 20 Hz e os 20 kHz, existindo três grandes zonas de frequências: os infrassons (inferiores a 20 Hz), a gama audível e os ultrassons (superiores a 20 kHz) [2] (ver Figura 2).

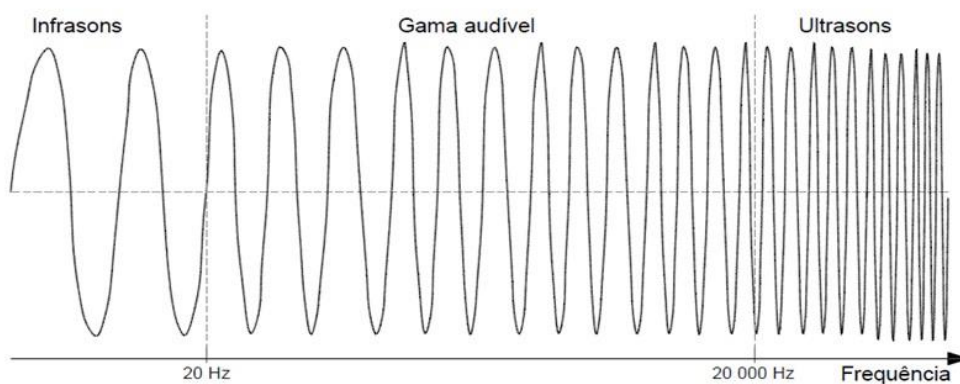


Figura 2 – Distribuição das gamas de frequências de um som, incluindo as gamas audíveis por seres humanos [4]

Outra característica teórica das ondas sonoras é o seu "tamanho". Trata-se do *comprimento de onda* (λ) que é a distância entre dois pontos idênticos consecutivos da onda periódica e pode ser obtido pela Eq. 2.

$$\lambda = c.T = c/f \quad \text{Eq. 2}$$

em que,

- λ – comprimento de onda (m);
- c – celeridade ou velocidade de propagação do som no ar (m/s);
- T – período (s);
- f – frequência (Hz).

Os microfones e todos os equipamentos de captação sonora registam normalmente as pressões sonoras de qualquer frequência do som que é captado. Ora, como o ouvido humano é pouco sensível para muito baixas frequências e apresenta algum défice de sensibilidade para as muito altas frequências, o nível de pressão sonora, medido em dB, não é suficientemente representativo da sensação auditiva humana. Por isso, para exprimir essa particularidade "humana" e, portanto, a sonoridade real e subjetiva é necessário "corrigir" a sensibilidade dos equipamentos de modo a que seja semelhante à do ouvido humano. Introduziram-se então filtros eletrónicos nos aparelhos de medida que corrigem os valores rastreados. As curvas que representam as correções efetuadas em função das frequências do som captado são chamadas curvas de ponderação e a mais usada, por ser representativa da audição humana, é denominada Curva ou Filtro A, cujo desenvolvimento se pode observar na Figura 3 [2].

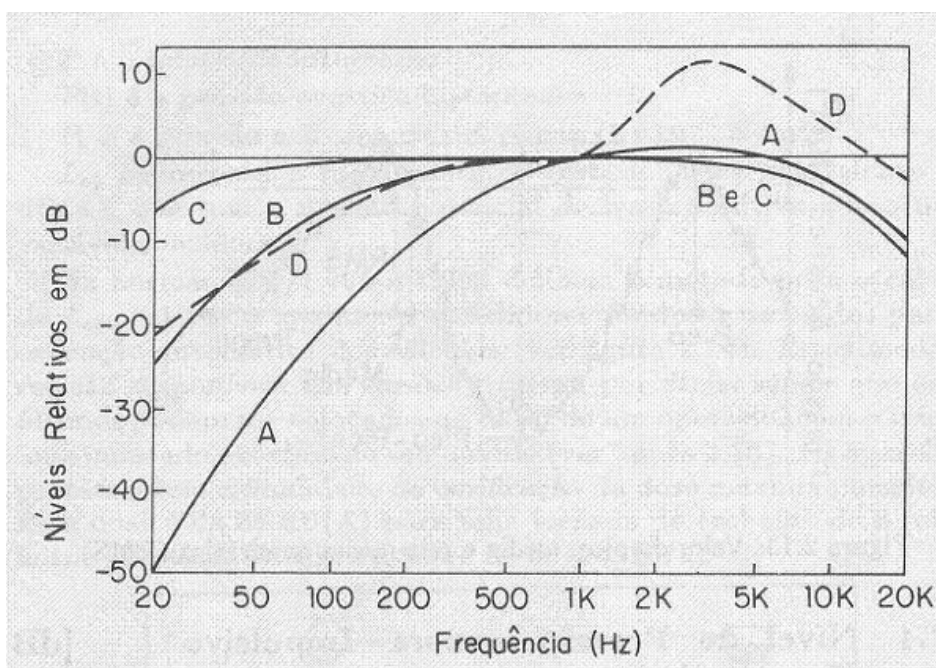


Figura 3 - Curvas de ponderação (filtros) A, B, C e D [2]

Deste modo, adicionam-se, algebricamente, os valores corretivos do Filtro A aos valores de pressão sonora (em dB) e obtém-se assim o nível de pressão sonora em dB(A).

De entre os vários níveis de pressão sonora utilizados, salientam-se o "nível de pressão sonora contínua equivalente" (L_{eq}) e os "níveis de pressão sonora estatísticos" (L_N) que são os dois parâmetros de medida de ruído mais utilizados no que diz respeito ao tempo.

O primeiro define-se como o valor constante do nível de pressão sonora, durante um determinado intervalo de tempo, que produz a mesma energia que o som que se quer avaliar. Este parâmetro pode ser determinado a partir da Eq. 3.

$$L_{eq} = 10 \log \left[\left(\frac{1}{T} \right) \sum_{i=1}^N t_i \times 10^{L_i/10} \right] \quad \text{Eq. 3}$$

sendo,

- L_{eq} – nível de pressão sonora contínua equivalente;
- L_i – nível de pressão sonora uniforme durante o tempo t_i ;
- $T = \sum t_i$.

Por outro lado, os parâmetros estatísticos L_N , associados a quantis de densidade de probabilidade, definem-se como sendo o nível que, num dado intervalo de tempo, é excedido em N% da duração total desse intervalo (L_{50} , L_{95} , etc) [2].

2.3. SISTEMA AUDITIVO

No que diz respeito à sua anatomia, o ouvido humano divide-se em três partes: o ouvido externo, o ouvido médio e o ouvido interno, como está patente na Figura 4.

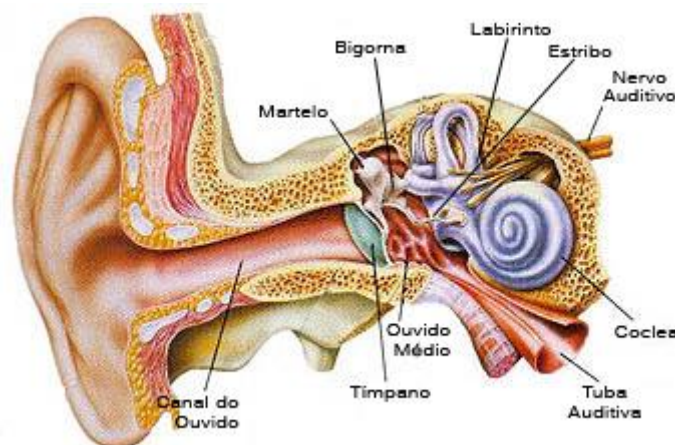


Figura 4 - Esquema do ouvido humano, extraído de [5]

O ouvido externo é constituído pelo pavilhão da orelha, canal auditivo e tímpano e é responsável pela captação das ondas sonoras, encaminhando-as pelo canal auditivo para o tímpano que vibra. A aurícula, cujo formato ajuda na receção do som, forma a entrada para o canal auditivo que conduz as ondas sonoras em direção ao tímpano. O canal auditivo, com um comprimento de cerca de 27 mm, possui uma frequência de ressonância próxima de 3000 Hz. Este efeito de ressonância aumenta a sensibilidade auditiva nesta gama de frequências [2, 6, 7].

O ouvido médio é uma cavidade cheia de ar, constituído por três pequenos ossos, os ossículos: o martelo, a bigorna e o estribo. Estes atuam como amplificadores de modo a que as ondas sonoras passem de um meio aéreo para um meio líquido (no interior da cóclea – ouvido interno). O estribo liga-se à janela oval para encaminhar as ondas sonoras para o interior da cóclea. O ouvido médio está interligado com a garganta através da trompa de Eustáquio para equilibrar a pressão do ar [2].

O ouvido interno é constituído pela cóclea, preenchida por um líquido denominado por perilinfa. No seu interior, existe a membrana basilar, na qual estão localizadas as terminações nervosas, os cílios, que fornecem as sensações de equilíbrio e de audição. A membrana basilar é posta em movimento através de vibrações existentes entre a janela oval e a cóclea, reagindo a diferentes frequências ao longo do seu comprimento. Os estímulos de frequências baixas fazem com que os cílios reajam em todo o comprimento da membrana basilar, enquanto as altas frequências só fazem reagir a zona inicial da mesma [2, 6, 7].

2.4. EFEITOS DO RUÍDO

Os efeitos incitados pelo ruído são classificados de acordo com as consequências que provocam no ser humano e dividem-se em *efeitos sobre o aparelho auditivo* e *efeitos não auditivos*.

Os primeiros efeitos referidos são visíveis pelo desgaste da capacidade auditiva que, por sua vez, pode levar à surdez temporária ou à surdez definitiva (parcial ou total). Com a repetida permanência em locais com ruídos intensos, os cílios perdem a sua capacidade de recuperação das mudanças de posição e partem-se. Por vezes, pode também destruir-se o tímpano e o ouvido interno (ossículos) [2].

Por outro lado, os *efeitos não auditivos*, refletem-se em todo o corpo humano a nível físico, mental e emocional. Os efeitos que mais se destacam são zumbido nos ouvidos, problemas em conciliar o sono, problemas cardíacos e/ou musculares, ansiedade e *stress*, salientando-se, ainda, problemas associados à dificuldade de comunicação, menor concentração ou estado anormal de fadiga [2].

2.5. ACÚSTICA DE EXTERIORES

2.5.1. INTRODUÇÃO

Num determinado meio e contexto, o ruído emitido por uma dada fonte sonora diminui com o aumento da distância entre o recetor e a fonte ou até atingir um obstáculo à propagação das ondas sonoras.

Em qualquer ponto, o nível de pressão sonora num dado recetor é consequência direta, não só do nível de potência sonora (na fonte emissora), como da atenuação total verificada ao longo de todo o percurso da onda sonora entre o emissor e o recetor (Eq. 4):

$$L_p = L_w - A_{total}, (dB) \quad \text{Eq. 4}$$

em que,

- L_p – nível de pressão sonora no recetor;
- L_w – nível de pressão sonora no emissor;
- A_{total} – atenuação total durante o trajeto das ondas sonoras.

A *atenuação total* é o somatório dos vários efeitos que atuam sobre a onda sonora propagada e dos quais se destacam a atenuação por divergência geométrica, a atenuação devida ao ar, a atenuação devida à absorção pelo solo, a ação dos gradientes de temperatura e velocidade do vento e a atenuação devido à presença de obstáculos [2].

2.5.2. ATENUAÇÃO POR DIVERGÊNCIA GEOMÉTRICA

O efeito mais importante de todos os que intervêm na propagação das ondas sonoras no exterior é a *atenuação por divergência geométrica*. Isto deve-se ao crescimento, com a distância à fonte, da superfície da onda sonora (esfera ou cilindro, caso se trate, respetivamente, de uma fonte pontual ou linear).

As *fontes pontuais* são aquelas que se podem considerar originárias num único ponto do espaço, enquanto que as *fontes lineares* estão relacionadas com fontes cuja origem do som se desenvolve ao longo de um segmento de reta.

Para uma fonte pontual, o decréscimo do nível de pressão sonora com a duplicação da distância é de 6 dB e para uma fonte linear é de 3 dB [2]. Na Figura 5 apresentam-se exemplos de fontes de ruído.



Figura 5 - Exemplos de fontes de ruído pontual (à esquerda) e linear (à direita) [3]

2.5.3. ATENUAÇÃO DEVIDA AO AR

A *atenuação devida ao ar* depende das características do som (como a frequência) e das condições meteorológicas (como a humidade relativa e da temperatura do ar).

A influência da humidade relativa pode-se considerar significativa para valores abaixo dos 30%, sendo também de salientar que, quanto mais elevada for a componente de altas frequências de um som, maior será a atenuação que irá ocorrer.

No Quadro 1 apresentam-se alguns valores do coeficiente de atenuação atmosférica em função da temperatura e da humidade relativa.

Quadro 1 - Valores do coeficiente de atenuação atmosférica (dB/km), adaptado de [2, 8]

Temperatura	HR (%)	62,5 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	8000 Hz
30 °C	10	0,362	0,958	1,82	3,40	8,67	260
	20	0,212	0,725	1,87	3,41	6,00	165
	30	0,147	0,543	1,68	3,67	6,15	113
	50	0,091	0,351	1,25	3,57	7,03	73,1
20 °C	10	0,370	0,775	1,58	4,25	14,1	175
	20	0,260	0,712	1,39	2,60	6,53	215
	30	0,192	0,615	1,42	2,52	5,01	166
	50	0,123	0,445	1,32	2,73	4,66	104
10 °C	10	0,342	0,788	2,29	7,52	21,6	69,4
	20	0,271	0,579	1,20	3,27	11,0	154
	30	0,225	0,551	1,05	2,28	6,77	187
	50	0,160	0,486	1,05	1,90	4,26	155

2.5.4. ATENUAÇÃO DEVIDA À ABSORÇÃO PELO SOLO

A propagação do som junto ao solo é afetada pela atenuação causada pelo “atrito” nessa superfície e depende do tipo de solo, que pode ser classificado como “rígido” (asfalto ou betão) ou como “macio” (relva, neve, etc.). No caso de um solo “macio” e para distâncias mais reduzidas, a atenuação pode ter um valor igual a -3 dB, embora essa atenuação possa variar entre 1 a 6 dB em função dos dois tipos de solo extremos [2].

2.5.5. ATENUAÇÃO PELA AÇÃO DOS GRADIENTES DE TEMPERATURA E DA VELOCIDADE DO VENTO

Observando a Figura 6, constata-se que há também outros dois fatores importantes na propagação do som no exterior: os *gradientes de temperatura do ar* e a *velocidade do vento*.

Quando a temperatura aumenta em altura, o gradiente é positivo e a situação denomina-se "inversão de temperatura" e quando a temperatura diminui com a altura, o gradiente é negativo. Um gradiente de temperaturas negativo resulta numa redução do nível sonoro junto ao solo, criando *zonas de sombra* enquanto que um gradiente positivo resulta em ondas sonoras que sofrem difração provocando, por sua vez, um aumento do nível sonoro junto ao solo [2], um efeito como o que se pode observar na Figura 6.

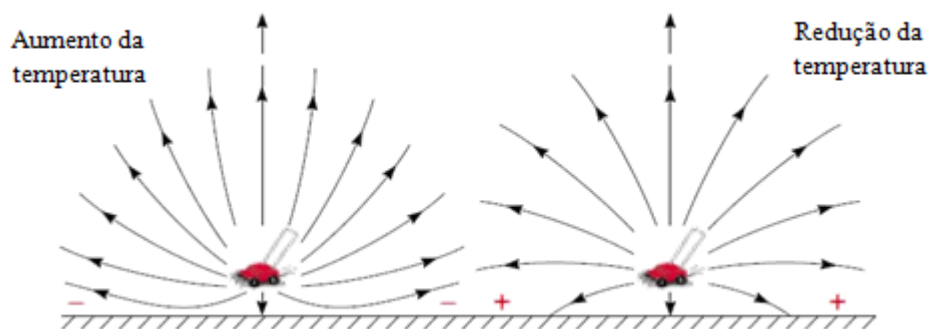


Figura 6 - Efeito da temperatura com a altura, adaptado de [3]

Quanto ao vento e como a sua velocidade geralmente aumenta com a altitude, o vento ao soprar da fonte sonora para o recetor tenderá a encurvar as ondas sonoras para baixo, resultando no aumento de nível sonoro junto ao solo. Se o vento soprar do recetor para a fonte sonora, haverá um encurvamento para cima contribuindo para a redução do nível sonoro e possíveis zonas de sombra [2].

2.5.6. ATENUAÇÃO PELA PRESENÇA DE OBSTÁCULOS

Um obstáculo, como uma barreira, natural ou artificial, é qualquer corpo sólido colocado entre a fonte sonora e o recetor, de forma a atenuar o ruído recebido por este último. Este obstáculo, consoante a sua composição e dimensões, pode atenuar sobretudo as altas frequências, embora seja possível que também atue sobre as baixas frequências emitidas pela fonte sonora [7].

Apesar de tudo, o ruído poderá não ser totalmente enfraquecido, chegando ao recetor por via indireta devido à difração que pode ocorrer no topo e laterais desse obstáculo e que corresponde ao desvio que as ondas sonoras sofrem quando passam nos bordos de uma barreira. [2]. Quanto maior a altura e extensão desses obstáculos, maior será a distância percorrida pela onda sonora e, consequentemente, maior será a atenuação existente.

2.6. REGULAMENTO GERAL DO RUÍDO (RGR)

O Regulamento Geral do Ruído (RGR), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 9/2007 de 17 de janeiro, constitui o terceiro documento legal de referência no que concerne ao ruído, tendo o primeiro sido aprovado em 1987.

No RGR define-se *ruído ambiente* como sendo o “*ruído global observado numa dada circunstância num determinado instante, devido ao conjunto das fontes sonoras que fazem parte da vizinhança próxima ou longínqua do local considerado*” e “*estabelece o regime de prevenção e controlo da poluição sonora, visando a salvaguarda da saúde humana e o bem-estar das populações*” [9].

No seguimento do preconizado neste regulamento, nos planos municipais de ordenamento do território (PMOT) em vigor, cuja elaboração e revisão está a cargo dos municípios, passou a ter de constar a classificação acústica do território, que inclui a delimitação e a disciplina das zonas sensíveis e das zonas mistas.

No RGR define-se como **Zona Sensível** “*a área definida em plano municipal de ordenamento do território como vocacionada para uso habitacional, ou para escolas, hospitais ou similares, ou espaços de lazer, existentes ou previstos, podendo conter pequenas unidades de comércio e de serviços destinadas a servir a população local, tais como cafés e outros estabelecimentos de restauração, papelarias e outros estabelecimentos de comércio tradicional, sem funcionamento no período noturno*” e como **Zona Mista** “*a área definida em plano municipal de ordenamento do território, cuja ocupação seja afeta a outros usos, existentes ou previstos, para além dos referidos na definição de zona sensível*” [9].

No âmbito da elaboração e revisão destes planos de gestão territorial (Plano Diretor Municipal - PDM e Planos de Urbanização - PU), também são executados mapas de ruído. Estes mapas são obtidos a partir de técnicas de modelação e/ou por dados acústicos recolhidos tendo em conta técnicas de medição normalizadas. Os mapas de ruído são elaborados para os indicadores L_{den} e L_n , reportados a uma altura de 4 m acima do solo [9].

O RGR contempla o uso do indicador L_{den} , expresso em dB(A), obtido pela Eq. 5:

$$L_{den} = 10 \log \left[\frac{1}{24} \left(13 \times 10^{L_d/10} + 3 \times 10^{(L_e+5)/10} + 8 \times 10^{(L_n+10)/10} \right) \right] \quad \text{Eq. 5}$$

em que:

- L_{den} corresponde ao indicador de ruído diurno-entardecer-noturno associado ao incómodo global (dB(A));
- L_d é o indicador de ruído diurno (dB(A));
- L_e é o indicador de ruído do entardecer (dB(A));
- L_n é o indicador de ruído noturno (dB(A)).

Os indicadores L_d , L_e e L_n referem-se, respetivamente, aos níveis de pressão sonora para os períodos diurno (7:00h – 20:00h), do entardecer (20:00h – 23:00h) e noturno (23:00h – 7:00h).

Em função da classificação de uma zona como *Mista* ou *Sensível*, devem ser respeitados os valores limite de exposição indicados no Quadro 2.

Quadro 2 – Valores-limite de Exposição em função da Classificação de Zonas, adaptado de [9]

Classificação de Zonas	L_{den} (dB(A))	L_n (dB(A))
Zonas Mistas	65	55
Zonas Sensíveis	55	45
Zonas Sensíveis na proximidade de GIT existente	65	55
Zonas Sensíveis na proximidade de GIT não aéreo em projeto	60	50
Zonas Sensíveis na proximidade de GIT aéreo em projeto	65	55
Recetores Sensíveis em Zonas ainda não classificadas	63	53

GIT – Grandes Infraestruturas de Transporte (>3 milhões veíc. rod.; > 50.000 aviões; > 30.000 comboios /ano)

As zonas Sensíveis ou Mistas expostas a um ruído ambiente exterior que exceda os valores limite fixados no artigo 11º do RGR (indicados no Quadro 2) devem ser objeto de planos municipais de redução de ruído (PMRR), cuja elaboração está ao cargo das câmaras municipais.

3 ESTADO DA ARTE

3.1. INTRODUÇÃO

No que diz respeito a este tema, e da análise da bibliografia disponível sobre assuntos relacionados, acredita-se que ainda não tenham sido desenvolvidos muitos estudos específicos sobre a modelação do ruído social que permitam a sua utilização como ferramenta previsional de avaliação do impacto sonoro de uma dada intervenção.

Pensa-se que este tema, ruído social e sua modelação, ainda seja um tema muito recente e com grande potencial de evolução futura, de maneira a poder satisfazer as necessidades das cidades no que diz respeito à previsão e modelação do ruído existente, para assim poderem atuar e decidir sobre intervenções e atividades que pretendam desenvolver, no sentido de minimizar excessos ao nível do ruído ambiente que possam ser prejudiciais para o ser humano.

Já no que respeita à contagem de peões, existem alguns estudos que têm vindo a ser desenvolvidos em contextos distintos do atual, maioritariamente associados à segurança dos peões, ao dimensionamento de elementos de tráfego e das vias rodoviárias e não tanto considerando o peão como um fluxo “regular” de tráfego.

Nos pontos seguintes descrevem-se alguns estudos relacionados com os temas objeto da presente dissertação.

3.2. RUÍDO SOCIAL: GRANDES AGLOMERAÇÕES DE POPULAÇÃO

Hayne *et al.* referem, num estudo realizado em 2006 [10], que previsão do ruído social é um problema atual que tem de ser encarado pela sociedade, em particular pelos especialistas em acústica, uma vez que apesar de ser frequentemente necessário prever emissões de ruído em atividades que envolvem grandes aglomerações de pessoas, não há métodos de previsão disponíveis. Neste estudo o autor aborda os fatores que influenciam o ruído social, salientando os fatores locais e as características do público que influenciam o ruído emitido pelo mesmo e indica quatro fatores imperativos que influenciam o nível de ruído gerado por um dado grupo de pessoas: o esforço vocal individual, o número total de pessoas, a natureza da fonte sonora e o tipo de fonte (direcional ou com uma orientação difusa).

Não existem muitos estudos que reportem investigação a respeito da previsão do ruído de grandes aglomerações de população. O mais habitual, em situação de projeto, é o recurso a medições de ruído num tipo equivalente de edifício ou equipamento público e, com base na similaridade com esse estudo e outros equivalentes caracterizar as emissões de ruído provenientes da população através de uma variedade de parâmetros descritivos do ambiente sonoro. Por exemplo, Evans (1990) [11] apresentou

dados baseados nos parâmetros L_{eq} e L_n , enquanto nos estudos realizados para a cidade de Seattle (2002) [12] já se utilizaram parâmetros como o L_{25} e L_{max} para descrever as emissões provenientes de eventos desportivos.

Estes estudos apresentam diversas observações a respeito da caracterização do ruído social. Por exemplo, a *Brooklyn Bridge Park Development Corporation*, em 2005 [13] constatou que um outro aspeto do ruído populacional é que este é, geralmente, intermitente. As pessoas não aplaudem continuamente em eventos. Pelo contrário, os aplausos surgem e desaparecem dependendo do momento em questão. Uma observação semelhante foi apresentada por Evans (1990) [11] que constatou que mesmo sendo considerados os parâmetros acústicos L_{aeq} e L_{max} como bons descritores do ruído de público, este tipo de ruído pode ter um aumento e decréscimo de fluxo instantâneos. Este ruído é diferente de outros ruídos ambientais intermitentes tais como a passagem de um avião ou o ruído ferroviário porque o seu aumento e decréscimo são graduais e não instantâneos [10].

Nesta dissertação, apesar de se constatar a variação e flutuação temporal do nível de ruído ambiente, procurou-se ter em atenção esta diferente composição do ruído social pela consideração de duas fontes sonoras principais, como o calçado e a forma de marcha, associada a fatores como o falar das pessoas. No entanto, e atendendo ao tipo de fluxo de peões, considerou-se que estes se poderiam assemelhar a fontes pontuais em movimento ou, por simplificação, como fontes lineares no capítulo de modulação.

3.3. PEÕES: CONTAGENS E ESTIMATIVAS

Nishi *et al.*, em 2014, procurou estimar a movimentação de peões com auxílio dos dados de localização de utilizadores de *smartphones*. Esta técnica destinou-se a ser uma alternativa aos censos de tráfego que usavam contadores tradicionais para a avaliação do número de peões que passavam num dado local e que apresentam grandes limitações ao nível do custo e da área avaliada e de tempo [14].

A abordagem proposta pode substituir os habituais censos de tráfego, considerando os dados de localização dos utilizadores de *smartphones* da base de dados já existente. Tem a vantagem de apresentar um baixo custo, porque usa dados de localização adquiridos de forma colateral de utilizadores de *smartphones*, e não tem limites no que diz respeito à área e ao tempo. Isso significa que podem ser estimadas as tendências de movimentação de peões em áreas e tempos arbitrários [14].

A técnica proposta baseou-se no pressuposto de que o número de dados de localização numa determinada área é proporcional ao “volume” da população, mas ao mesmo tempo também elimina alguns dados para aumentar a precisão dos peões. É usado um gráfico gaussiano para ajudar a fazer a interpolação de dados na direção do tempo, o que permite estimar fluxos contínuos de peões numa dada área [14].

Nesse estudo avaliaram-se cinco áreas durante 11 dias e tomou-se nota dos resultados obtidos. O resultado experimental mostrou que foi feita uma estimativa bem-sucedida das tendências dos peões em determinadas áreas e que o método proposto tem um erro residual para a estimativa horária de número de peões por comparação com a abordagem convencional [14].

Na Figura 7 é possível verificar a distribuição de peões ao longo das horas feita neste estudo.

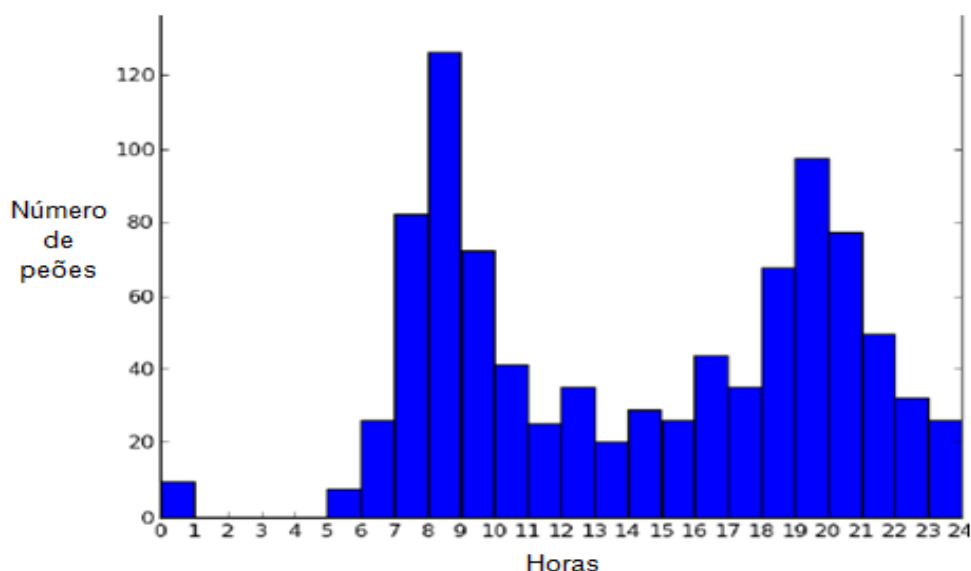


Figura 7 – Número de peões em Tóquio em função das horas, adaptado de [14]

Em 2012, a *Science Applications International Corporation, et al.*, procurou estimar o “volume” de ciclistas e de peões, assim como as distâncias percorridas por esses dois grupos da população. O objetivo deste estudo estava associado ao grau de exposição ao risco de ter um acidente com um veículo a motor, uma vez que se considerava que este aumentava com a distância percorrida em situações de partilha da mesma via [15]. Os autores consideravam que a metodologia encontrada tinha o potencial para suportar a necessidade técnica de implementação de medidas consensualmente aceites para minimizar a exposição de peões e ciclistas e ainda, contribuía para a avaliação da eficácia dos programas de segurança existentes para ambos [15]. Na Figura 8 é possível ver o ajuste da distribuição dos peões no artigo em causa.

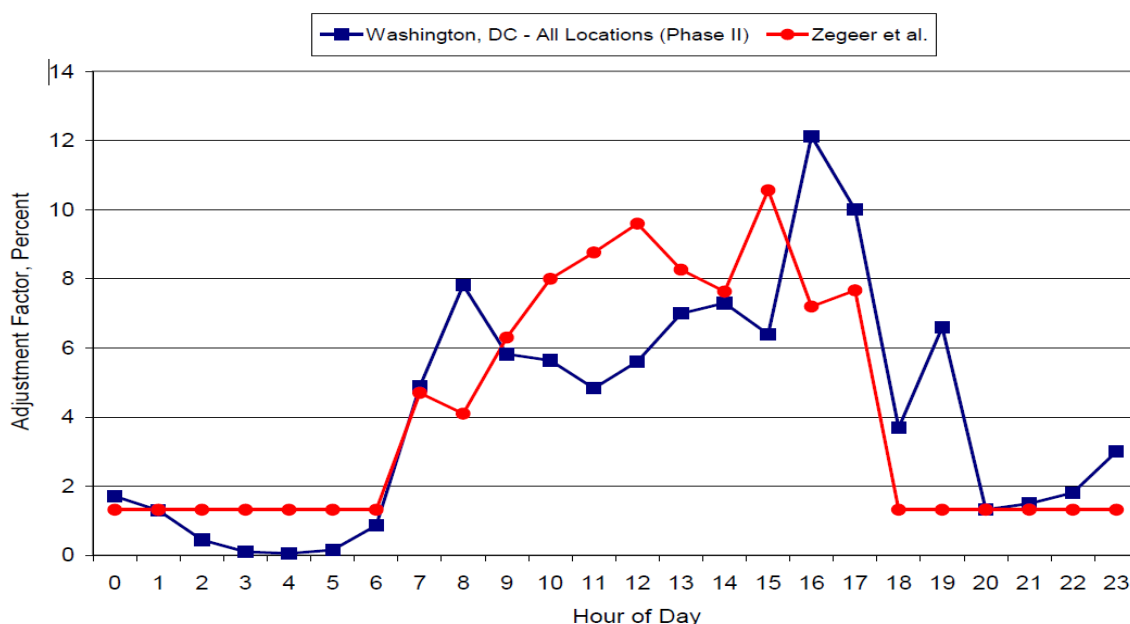


Figura 8 – Ajuste da distribuição dos peões ao longo do dia em Washington [15]

Deng *et al.*, em 2017 [16] procurou analisar a paisagem sonora de uma área turística de Pequim como um ambiente sonoro que enfatiza a consciencialização da percepção auditiva e entendimento social e cultural. Estes autores constataram que estudos feitos anteriormente sobre a paisagem sonora em áreas históricas eram maioritariamente focados na recolha, medição e avaliação de amostras para proteção de património ou projetos de controlo de ruído, limitando as investigações com foco direto e influência de paisagens sonoras no turismo ou mesmo na música.

Neste estudo foi avaliada a evolução da paisagem sonora de algumas cidades chinesas, entre 2008 e 2016, através dos elementos disponíveis de cartografia de ruído, estudos de investigação sobre a paisagem sonora. Através da combinação de uma análise qualitativa e quantitativa dos dados obtidos e a sua relação com fatores como o ruído de fundo, fluxos turísticos, comportamentos dos turistas e o modelo de negócio e rota turística, concluiu-se que a paisagem sonora tem uma forte correlação com o turismo, especialmente com música ou o ruído do tráfego. Foi ainda desenvolvido um planeamento das características acústicas da área de estudo com o objetivo de desenvolver uma divisão de área sonora funcional de turismo étnico e música étnica mais adequada [16]. Na Figura 9 é apresentado o mapa de ruído do planeamento sonoro desenvolvido para a área de estudo em questão.



Figura 9 – Mapa de Ruído correspondente ao planeamento sonoro estratégico de área de estudo em Pequim, com alteração da paisagem sonora correspondente [16].

Este artigo foi importante para o desenvolvimento do trabalho, na medida em que ajudou a perceber a realidade da modelação do ruído numa certa área para posterior avaliação.

Todos estes artigos contribuíram da sua maneira como uma ajuda para a preparação e para o desenvolvimento desta dissertação.

4

CARACTERIZAÇÃO DA EMISSÃO SONORA DO CAMINHAR PEDESTRE

4.1. INTRODUÇÃO

Um dos desafios da presente dissertação esteve associado à caracterização de fontes sonoras relevantes no contexto do caso de estudo: a Rua das Flores.

Sendo uma rua com fortes características turísticas e com bastantes atividades relacionadas é natural que a componente “pessoas” seja marcante. Por essa razão, considerou-se importante avaliar se o simples passeio dos peões ao longo da rua poderia constituir uma fonte de ruído marcante.

Para se proceder ao desenvolvimento do trabalho, foi assim necessária a caracterização da emissão sonora da marcha dos peões. Tendo consciência que o tipo de calçado e o modo de andar é determinante no ruído emitido, procurou-se caracterizar uma diversidade de situações que, posteriormente se pudesse utilizar nas simulações numéricas que se iriam realizar.

Para isso, foi necessário fazer ensaios na Câmara Reverberante do Laboratório de Acústica da FEUP, cuja preparação e resultados se descrevem no presente capítulo.

4.2. ENSAIOS NA CÂMARA ACÚSTICA DO LABORATÓRIO DE ACÚSTICA DA FEUP

Antes de se fazerem contagens do tipo de calçado que as pessoas utilizavam na Rua das Flores, foi necessário começar pelo trabalho de dividir em diferentes classes e tipos o calçado existente e utilizado hoje em dia, numa rua como a Rua das Flores.

Para isso, foi necessário ir ao Laboratório de Acústica da FEUP no Departamento de Civil fazer medições da emissão sonora de diferentes tipos de calçado e com diferentes utilizadores, de forma a obter um grupo heterogéneo de valores que se pudessem considerar representativos da realidade local.

A primeira tarefa, dentro da câmara reverberante, consistiu no ajuste do tempo de reverberação, tendo-se optado por colocar algum material absorvente junto às paredes e no piso. Tal operação permitiu atingir um tempo de reverberação semelhante ao da realidade da Rua das Flores.

Depois de preparada a câmara para a realização dos ensaios, criou-se um circuito, marcado no pavimento com fita-cola, por onde iriam “passar” os voluntários deste ensaio, em redor do qual se dispuseram os três microfones nos respetivos tripés, numa configuração em forma de triângulo, com uma altura de captação que se situava entre 40 e 50 cm, tal como sugere a Figura 10.



Figura 10 – Câmara reverberante onde foram realizadas as medições de caracterização da marcha de peões (incluindo variações no tipo de calçado), já adaptada para condições semelhantes às da Rua das Flores.

Cada voluntário andava no circuito com um determinado tipo de calçado enquanto se gravava o ruído emitido, por bandas de terço de oitava, durante cerca de 30 segundos.

No final de terem sido registados os ruídos de todos os tipos de calçado procedeu-se à medição do ruído de fundo existente na câmara. Também se calculou o tempo de reverberação médio.

Para estas medições foram utilizados os seguintes onze tipos de calçado:

Calçado Feminino

- sapatos de tacão (fino) (Tacão Azuis CR)
- sapatos de tacão (intermédio) (Tacão Preto CR)
- sandálias formais (Sandálias CR)
- sandálias informais (Sandálias H)
- sandálias rasas (Sandálias Rasas CR)
- havaianas (Havaianas H)

Calçado Masculino

- sapatos formais (Sapatos Formais F)
- sapatos de traje (Sapatos de Traje)
- botas com sola de borracha (Botas sola de borracha)
- sapatos de vela (Sapatos de vela)
- sapatilhas (Sapatilhas Homem)

4.3. ANÁLISE DE RESULTADOS

Dos resultados obtidos nos diferentes ensaios e do registo dos dados dos mesmos, conseguiu-se comparar, através das Figura 11 e da Figura 12, para cada tipo de calçado, o nível de emissão sonora por bandas de terço de oitava.

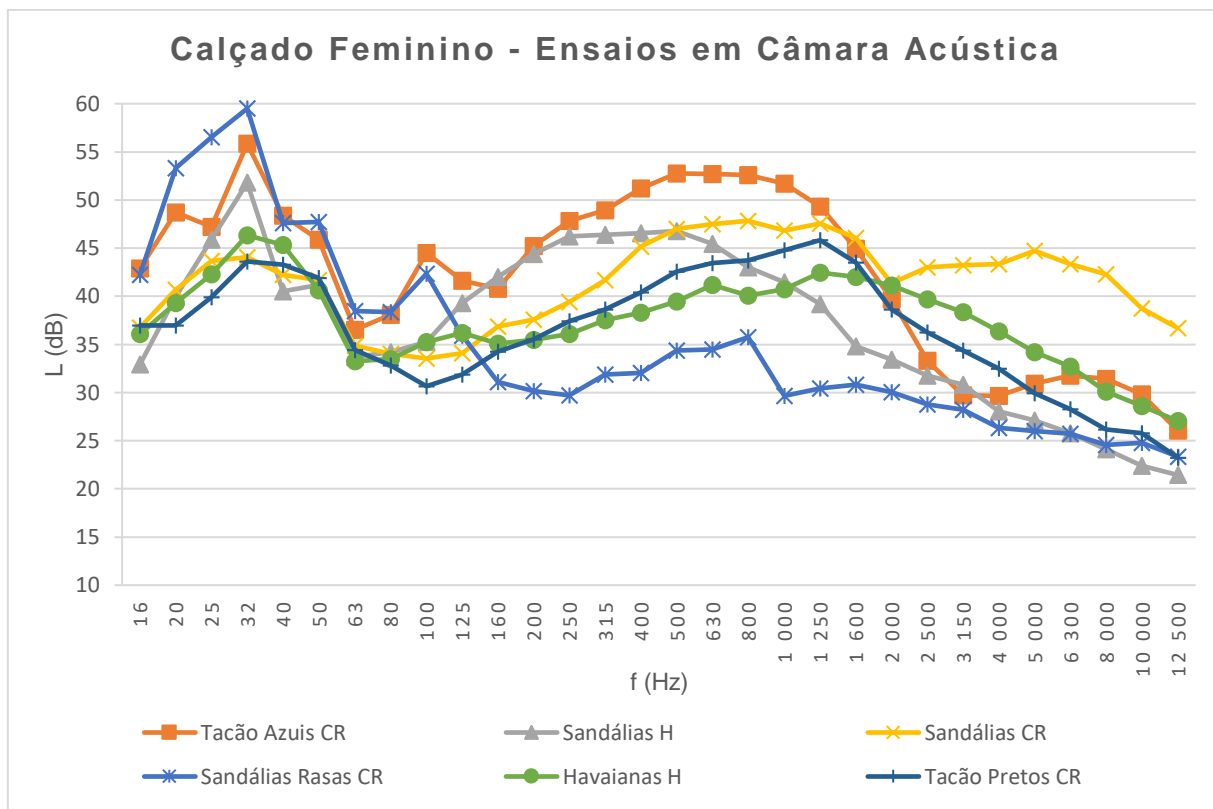


Figura 11 – Resultados dos ensaios de caracterização da emissão sonora da marcha de peões do sexo feminino, de acordo com o tipo de calçado usado

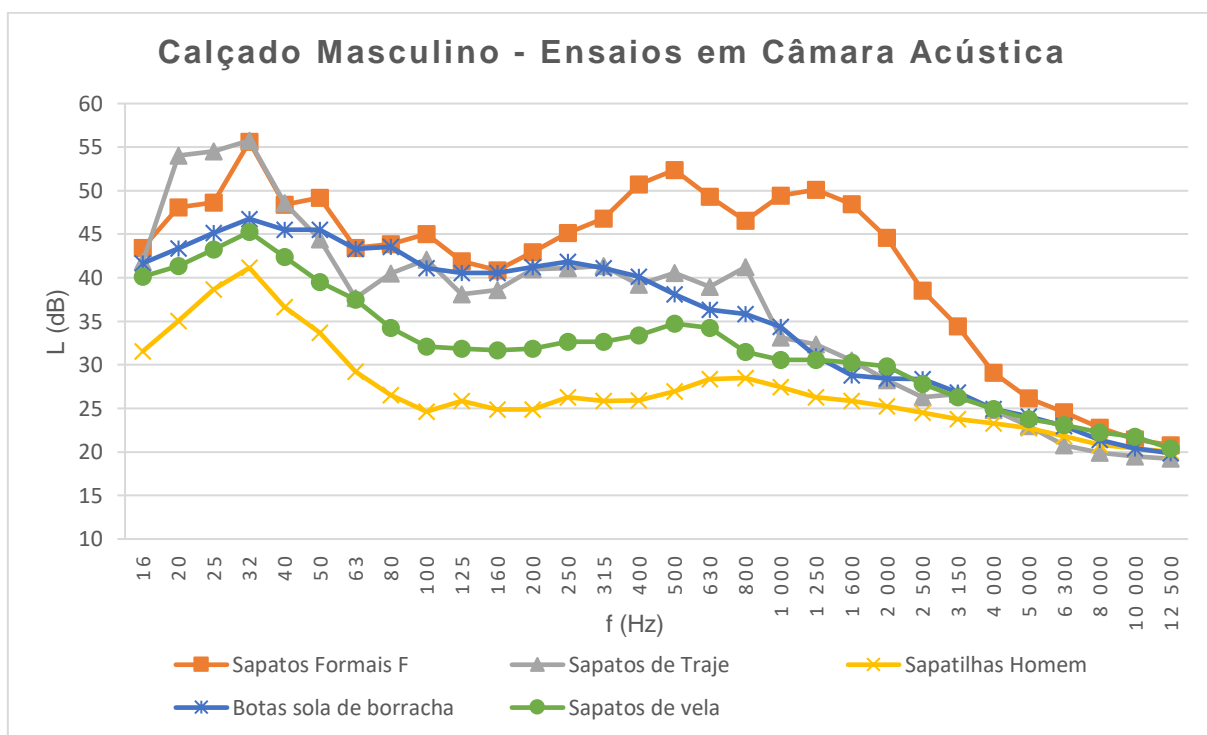


Figura 12 – Resultados dos ensaios de caracterização da emissão sonora da marcha de peões do sexo masculino, de acordo com o tipo de calçado usado

Analisando a Figura 11, pode-se concluir que os sapatos formais (de tacão fino) são os que apresentam maior ruído nas médias frequências. Todo o tipo de calçado feminino experimentado neste ensaio apresenta elevados valores de ruído nas muito baixas frequências, decorrente do tipo de marcha do voluntário e das características da sola do calçado experimentado. As sandálias CR são as que apresentam maior ruído nas altas frequências.

À semelhança do caso das mulheres, também no caso dos homens é possível observar que o calçado formal (sapatos formais) é o que apresenta maior ruído na gama das médias e altas frequências (ver Figura 12). Por outro lado, as sapatilhas são as que emitem menor ruído, uma vez que apresentam sola de borracha.

Mais tarde e tendo em conta o perfil de cada tipo de calçado, para que se pudessem introduzir os dados no *CadnaA*, optou-se por admitir que os seguintes quatro pares eram semelhantes no que respeita o perfil de emissão de ruído:

- Salto alto formal - Sandálias CR;
- Salto informal - Sandálias H;
- Sandálias - Sandálias Rasas CR;
- Havaianas - Havaianas H.

No Quadro 3 apresentam-se os valores dos espectros dos quatro tipos de calçado que se decidiram assemelhar aos que se contabilizaram na Rua das Flores, relativamente ao sexo feminino.

Quadro 3 – Espectros, por banda de oitava, considerados na simulação acústica para calçado do sexo feminino

	Salto alto formal	Salto informal	Sandálias rasas ou sapatilhas	Havaianas
Frequência (Hz)	Sandálias CR (dB)	Sandálias H (dB)	Sandálias Rasas CR (dB)	Havaianas H (dB)
31	48,2	53,0	61,5	49,7
63	43,1	42,6	48,6	42,0
125	39,9	44,4	43,5	40,3
250	44,6	50,5	35,5	41,2
500	51,4	51,1	38,5	44,6
1000	52,2	46,3	37,6	46,0
2000	48,7	38,3	34,7	45,8
4000	48,6	33,7	31,7	41,4
8000	46,6	29,1	29,8	35,6

Tal como se fez para o sexo feminino, também para o sexo masculino se associaram quatro espectros ao tipo de calçado contado posteriormente na Rua das Flores. Essas associações foram as seguintes:

- Calçado formal - Sapatos Formais F;
- Sapatilhas ou sapato tipo vela - Sapatilhas Homem;
- Sandálias - Sapatos de vela;
- Havaianas - Havaianas H.

Neste último caso, usaram-se as havaianas medidas no sexo feminino, pois pensou-se que o espectro de ruído seria muito semelhante.

No Quadro 4 é possível observar os valores dos espectros para esses tipos de calçado masculino.

Quadro 4 - Espectros, por banda de oitava, considerados na simulação acústica para calçado do sexo masculino

	Calçado formal	Sapatilhas ou sapato tipo vela	Sandálias	Havaianas
Frequência (Hz)	Sapatos Formais F (dB)	Sapatilhas Homem (dB)	Sapatos de vela (dB)	Havaianas H (dB)
31	57,0	44,0	48,6	49,7
63	51,1	35,6	42,4	42,0
125	47,8	29,9	36,7	40,3
250	50,0	30,5	37,2	41,2
500	55,8	32,0	38,9	44,6
1000	53,7	32,3	35,7	46,0
2000	50,3	30,0	34,2	45,8
4000	36,0	28,1	29,9	41,4
8000	27,9	25,8	27,2	35,6

Quando se compara a média global de todos os resultados, por sexo, constata-se que nas baixas frequências, existe alguma semelhança de comportamento, não só em relação ao tipo de calçado como em relação ao tipo de marcha. Já no que toca às médias e altas frequências, e de acordo com o que se pode observar na Figura 13, o calçado e forma de andar femininos induzem níveis de emissão mais elevados. De facto, considerando o valor do L_{eq} como referência, os resultados para o sexo feminino são cerca de 2 dB mais elevados que os do sexo masculino, respetivamente, 56 e 54 dB.

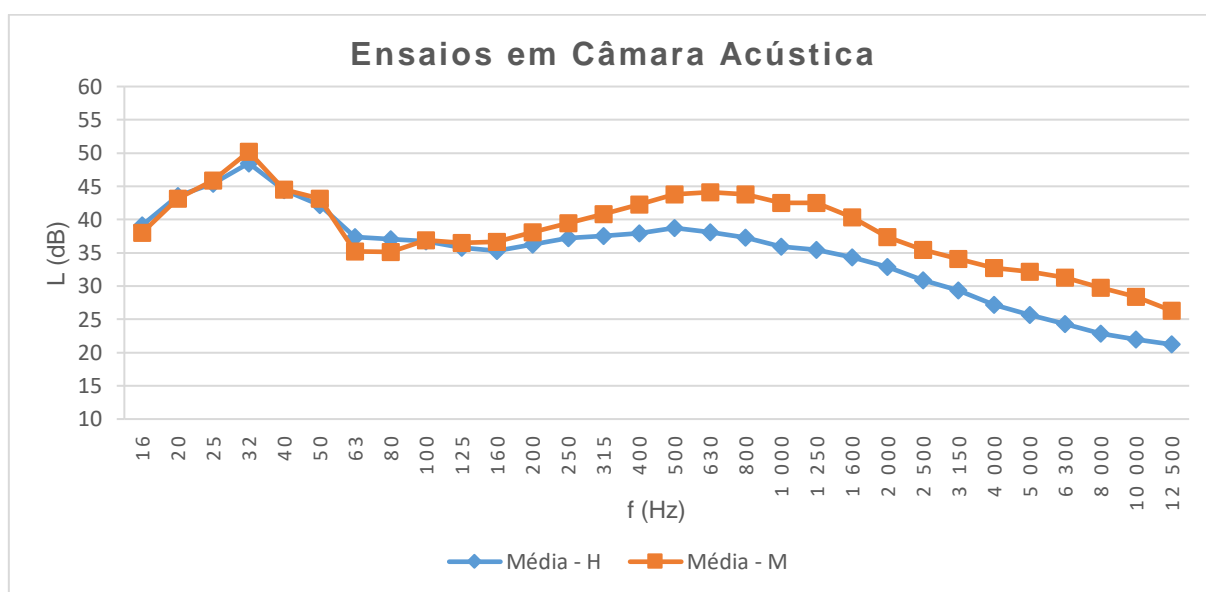


Figura 13 – Comparação da média dos resultados obtidos para os diferentes tipos de calçado e de marcha, de acordo com o sexo

Passando para a comparação do tipo de calçado e agrupando de acordo com a sua função e tipologia (ver Figura 14), constata-se que o calçado masculino apresenta níveis de emissão mais elevados ($L_{eq} = 62$ dB), com uma forte componente de baixas e médias frequências, provavelmente resultante de uma forma de andar “mais pesada” e com alguma componente de vibração associada. No caso do calçado feminino informal, com plataforma e salto “macios”, a componente das baixas e médias frequências também é significativa. O calçado considerado formal, apresentava plataforma e salto de madeira, apesar de ter uma sola em borracha, que emitia um som aparentemente mais “agudo”, que depois se veio a confirmar com as medições realizadas. Neste caso, o calçado feminino apresenta alguma diferenciação em relação ao masculino, correspondendo um L_{eq} de 58 dB ao salto formal e de 57 dB ao salto informal.

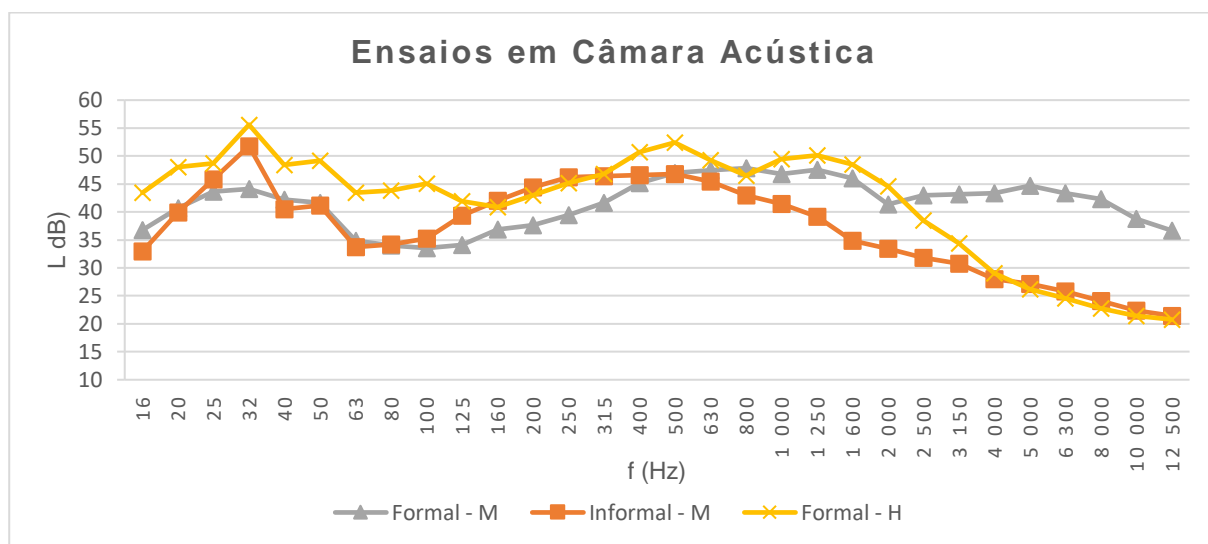


Figura 14 - Comparação da média dos resultados obtidos para calçado do tipo “formal” (incluindo salto altos mais largos no caso do sexo feminino), de acordo com o sexo

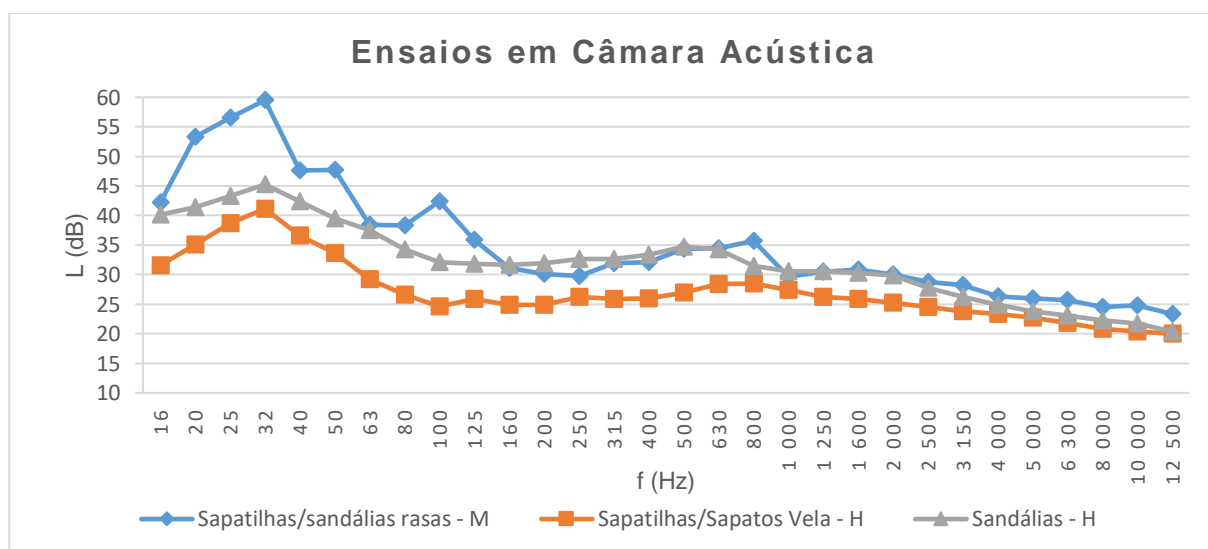


Figura 15 - Comparação da média dos resultados obtidos para calçado do tipo “sapatilha” (incluindo sandálias no caso do sexo masculino), de acordo com o sexo

No que toca ao calçado mais comum observado nesta rua, cujos resultados estão representados na Figura 15, pode-se verificar que o espectro das sapatilhas para os homens e das sapatilhas para as mulheres são bastante semelhantes, embora o das mulheres apresente valores superiores ($L_{eq} = 62$ dB), principalmente nas baixas frequências. Pode também verificar-se que o espectro relativo às sapatilhas do sexo feminino poderiam resultar de uma soma dos espectros do calçado masculino (sapatilhas ($L_{eq} = 46$ dB) e sandálias ($L_{eq} = 51$ dB)). Pode concluir-se que os três tipos de calçado presentes na Figura 15 emitem um tipo de ruído muito semelhante e por isso poderão ter efeitos sonoros também muito similares.

Em relação à análise do espectro das “havaianas”, estas foram escolhidas para ambos os sexos pois têm a particularidade de emitirem um ruído específico considerando uma componente nas médias-altas frequências relacionada com o bater da própria havaiana no pé dos peões. Isso é perceptível na Figura 11 e o seu L_{eq} é de 54 dB.

5

CASO DE ESTUDO: RUA DAS FLORES

5.1. INTRODUÇÃO HISTÓRICA

A Rua das Flores foi mandada abrir em 1518 pelo rei D. Manuel I, para fazer a ligação direta entre o Largo de S. Domingos e a Porta de Carros (uma porta da muralha fernandina que ficava sensivelmente no topo norte da atual Praça de Almeida Garrett, em frente da igreja dos Congregados).

Inicialmente chamou-se Rua de Santa Catarina das Flores, nome que lhe terá vindo das muitas hortas e vergéis que ali existiram noutros tempos, e foi aberta em terrenos quase todos ocupados pelas denominadas hortas do bispo e, portanto, pertencentes à Igreja, tendo as casas ficado por isso aforadas ao bispo e ao Cabido. Em várias das casas mais antigas ainda hoje se vê a marca expressiva desses forais: a roda de navalhas do martírio de Santa Catarina (as que eram propriedade do bispo) ou a figura do arcanjo S. Miguel (símbolo da pertença ao Cabido).

Calçetada em 1542, passou a ser uma das principais ruas da cidade, a par da Rua Nova (atual Rua do Infante D. Henrique), sendo mesmo escolhida por nobres e burgueses para nela construírem luxuosos palacetes, nela se passando muitos dos factos que fizeram a história quinhentista e seiscentista do Porto. Ainda hoje é considerada a mais tripeira das ruas portuenses, com belas construções de vários séculos e as suas típicas varandas, das mais belas que o Porto tem. Mas a rua ganhou também alguma notoriedade devido a um horrendo acontecimento que se diz ter sido ali cometido por um médico, o Dr. Urbino de Freitas, acusado de ter matado, com amêndoas envenenadas, uns sobrinhos para herdar a valiosa fortuna que lhes estava destinada (no ano de 1890).

Este crime, que deu brado na época, foi recentemente tema de um romance de António Rebordão Navarro. Nesta rua, do lado direito de quem desce, abriram as suas lojas muitos dos ourives e comerciantes de ouro e joias da cidade (de que já poucos restam hoje), a ponto de lhe chamarem a Rua do Ouro do Porto.

Do outro lado reinavam as lojas de panos. Muitas lavradeiras e raparigas casadouras dos arrabaldes gastaram nas lojas desta rua o melhor dos seus dotes em enxovais, cordões e arrecadas que depois exibiam nas festas e romarias das suas terras. As arquiteturas dos tempos modernos desfiguraram bastante esta bela rua, mas alguns dos seus prédios mais característicos têm sido recuperados, readquirindo a traça original que os caracteriza.

Dentre os edifícios mais notáveis, além da Casa da Misericórdia e respetiva igreja, destacam-se as casas dos Maias, dos Cunhas Pimentéis, dos Sousa e Silva, dos Constantinos e a da Companhia Velha [17].

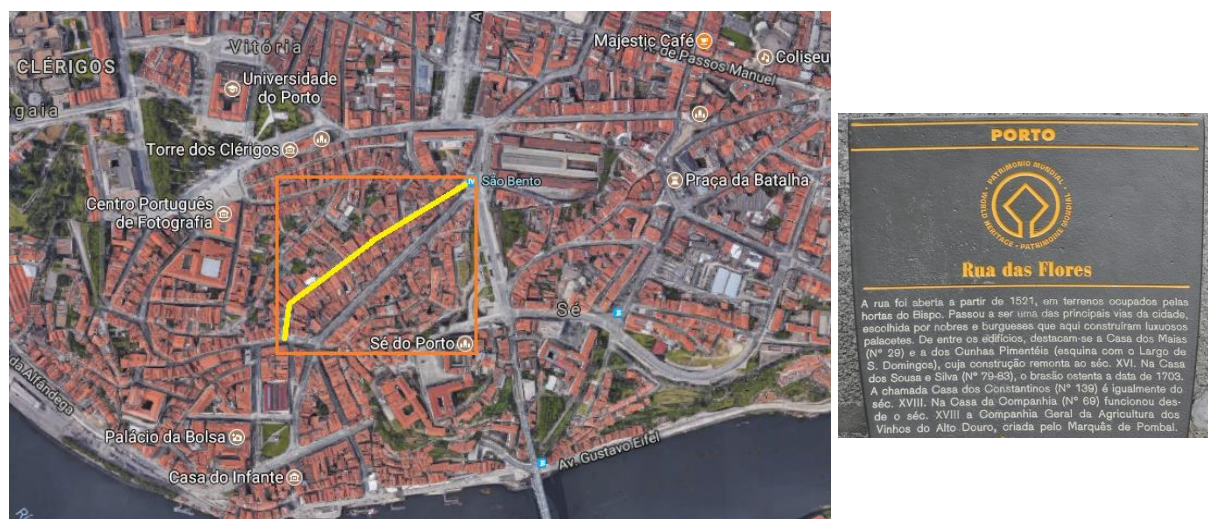


Figura 16 – Rua das Flores [18,19]

5.2. A ESCOLHA DA RUA DAS FLORES

A opção pela Rua das Flores esteve essencialmente associada ao facto de ser uma das ruas mais movimentadas e com grande afluência na baixa da cidade do Porto, não apenas em relação ao turismo, mas também pela sua utilização generalizada pela população que opta por esta rua para as suas deslocações a pé ao invés de o fazer (como anteriormente) pela quase paralela Rua Mouzinho da Silveira.

Atualmente, a Rua das Flores apresenta uma grande diversidade de lojas, serviços e zonas de restauração, prevendo-se que, com a conclusão das obras em curso, tal disponibilidade de atividades venha a ser incrementada.

É, com certeza, uma das ruas da cidade com mais movimento de peões ao longo do dia e por isso a escolha incidiu sobre esta rua. Esta poderia ser uma boa rua para o estudo em causa, no qual se pretendia analisar a influência do fator social no ruído ambiente de uma rua que tinha a particularidade de ser pedestre.

Como posteriormente se veio a constatar, além de ser uma das poucas ruas pedestres da cidade, neste momento também consegue ser uma das que reúne, em simultâneo, um número muito significativo de operações de construção (reabilitação do edificado existente).

5.3. CARACTERIZAÇÃO DA RUA DAS FLORES

Para um melhor conhecimento do caso em estudo, foi necessário fazer várias observações na Rua das Flores, de modo a obter informações o mais detalhadas possível e mais próximas da realidade.

Numa primeira instância, deparou-se como sendo uma rua bastante movimentada. Com inúmeras áreas de restauração e diversas unidades comerciais. Muitas esplanadas, cafés, restaurantes, lojas de vestuário, decoração, ourivesarias, entre outras. As pessoas geralmente caminham à conversa em tons mais elevados ou mais discretos. Sendo uma rua que se situa na zona histórica da cidade do Porto, é uma rua que apresenta inúmeros turistas.

Devido ao facto de ser uma rua bastante frequentada, também os artistas de rua escolhem esta rua para atuarem tentando ganhar sustento e alegrar o dia de quem por ali passa. Foram vistos músicos de rua

(cantores, guitarristas, violinistas, entre outros) e também artistas de circo (palhaços, malabaristas, entre outros).

Também os vendedores ambulantes aproveitam esta rua para expor e venderem as suas obras “artesanais”. Viram-se vendedores das mais variadas artes: desenhos, pinturas, discos de vinil, peças de bijuteria são alguns exemplos dos tipos de objetos vendidos.

Apesar da Rua das Flores ser predominantemente uma rua para peões, também por ela passam veículos (cujá circulação está condicionada à autorização municipal ou restrita a determinados horários) que tiveram alguma influência no ruído medido. Grande parte destes veículos são táxis, carrinhas de carga e descarga, carrinhas de limpeza da rua e bicicletas, embora se tenham contabilizado camiões de obras, betoneiras, etc. associadas às obras em curso.

Naturalmente, também passam por esta rua animais como por exemplo animais domésticos (como cães e gatos), ou não domesticados como gaivotas ou pombas, que também tiveram influência no ruído ambiente existente. No caso particular das gaivotas, assinala-se a sua representatividade no ambiente sonoro da rua, principalmente nas horas mais próximas da aurora ou na altura das refeições.

Uma outra componente do ruído ambiente em presença são os sinos da igreja da Misericórdia que se situa na zona sudoeste da Rua das Flores e que, com as intensas badaladas, demonstram interferência nas medições.



Figura 17 – Rua das Flores (sinalizada), adaptado de [19].

A Rua das Flores (Figura 17) é atravessada por outras ruas (de nordeste para sudoeste, respetivamente): Rua Trindade Coelho, Rua Afonso Martins Alho, Rua dos Caldeireiros, Rua do Ferraz e Rua da Ponte Nova. Apenas a primeira enunciada apresenta uma circulação periódica de veículos, o que pode também interferir no ruído existente da Rua das Flores.

A Rua das Flores tem aproximadamente 400 metros e apresenta dois tipos de piso. Desde o Largo de S. Domingos até à Rua Trindade Coelho (aproximadamente 85% da rua) o piso é constituído por lajetas de granito. Já da Rua Trindade Coelho à Praça Almeida Garrett (cerca de 15% da rua) o piso é constituído por cubos de granito, mais vulgarmente chamado como "paralelos" que, apesar de serem cortados e nivelados superiormente, criam condições acústicas mais adversas o que na restante extensão de rua.

Antes da recolha de dados numéricos, começou por se fazer uma recolha de dados na Rua das Flores, que passou por idas à própria rua e à recolha de anotações sobre meteorologia, estado do tempo, da quantidade de pessoas e da sua atividade, entre outros dados gerais para uma apreciação global do dia-a-dia da Rua das Flores, que se resumem no Quadro 5.

Quadro 5 – Resumo das observações recolhidas no trabalho de campo, na Rua das Flores

16 de março 2017 (quinta-feira)	17 de março 2017 (sexta-feira)	20 de março 2017 (segunda-feira)	28 de março 2017 (terça-feira)	3 de abril 2017 (segunda-feira)
Meteorologia: céu limpo, sol (20°C) 16h - 17h30	Meteorologia: enublado (18°C) 17h - 18h	Meteorologia: enublado (17°C) 10h - 11h30	Meteorologia: céu limpo (18°C) 18h-19h30	Meteorologia: céu limpo (18°C) 15h-16h30
Esplanadas completamente cheias	Esplanadas cheias	Esplanadas vazias	Esplanadas mais ou menos cheias	Esplanadas cheias
Muitíssimos turistas	Muitos turistas		Muitos turistas	Muitos turistas
Muitas pessoas a passear	Muitas pessoas a passear	Poucas pessoas a passear	Algumas pessoas a passear (fluxo de pessoas diminuiu um pouco a partir das 18h45)	Um ou outro grupo com mais pessoas (escolas) a descer a rua
4 artistas de rua 2 vendedores de rua	4 artistas de rua 1 vendedor de rua	Nenhum artista nem vendedor	3 artistas de rua	3 artistas de rua
				Muito ruído vindo das obras (máquinas, material a cair e trabalhadores a gritar)

Nestes dias foi também possível anotar e delimitar todos os edifícios em obras e reabilitação, que estão representados a verde escuro na Figura 18, e correspondem aos edifícios com os seguintes números de polícia (15 a 43, 54 a 68, 81 a 89, 160 a 184, 191 a 205 e 265 a 279, ordenados de forma crescente desde o Largo de S. Domingos para a estação de S. Bento (Praça Almeida Garrett).

Além da representação dos edifícios alvo de reabilitação, também se procedeu à identificação das diferentes atividades económicas que se desenvolviam na Rua das Flores. A partir do levantamento de

campo efetuado foi possível construir, com o auxílio do programa *ArcMap*, a Figura 18. Nesta figura, à vista aérea da rua, adicionou-se a informação relativa aos edifícios da cidade do Porto (tendo-se o cuidado de eliminar aqueles que não interessavam de maneira a restringir apenas à Rua das Flores) e ao uso a que estavam destinados.

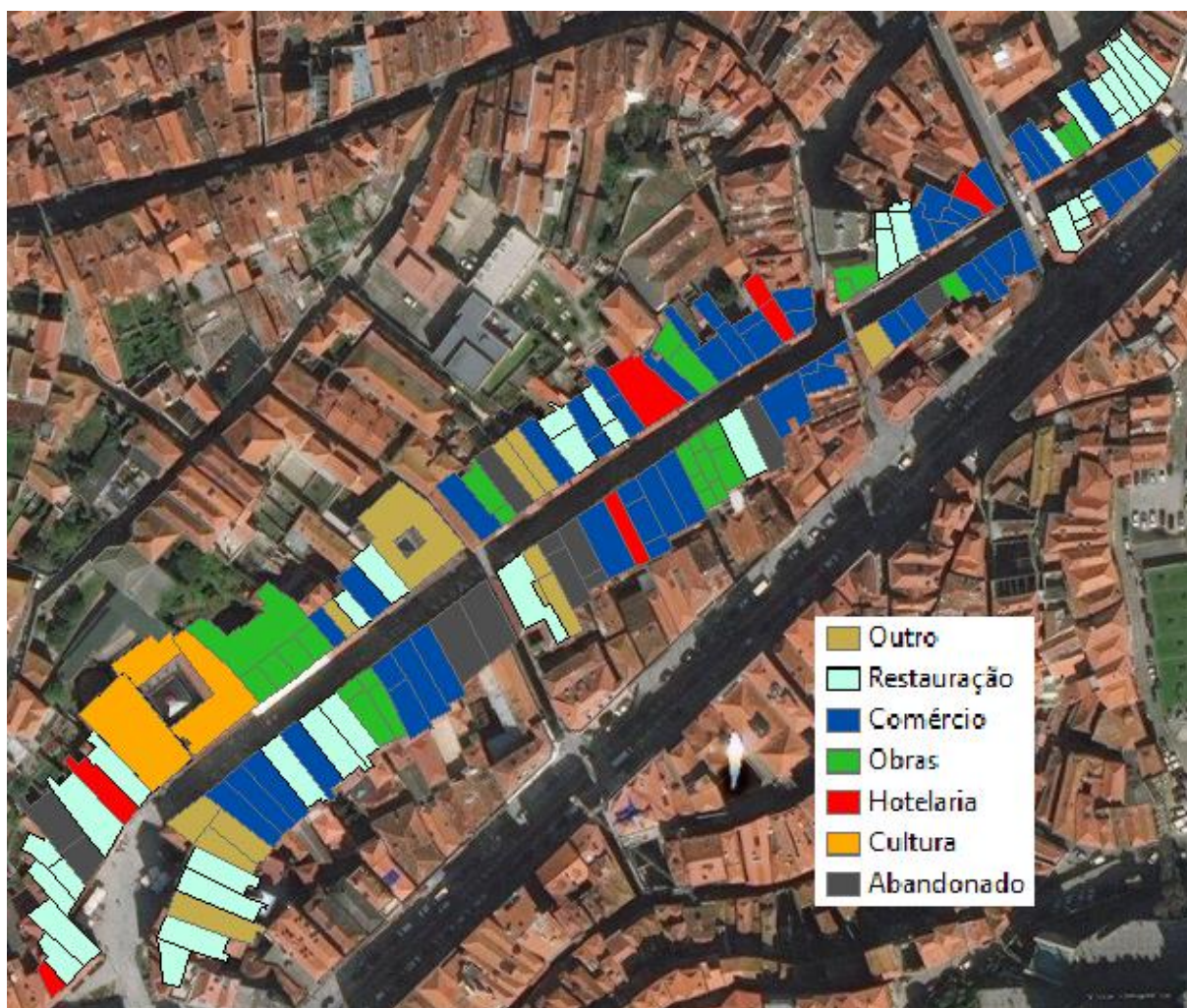


Figura 18 – Atividades económicas existentes na Rua das Flores, adaptado de [19].

Pode-se concluir, tal como referido anteriormente, que a Rua das Flores é uma rua que vive essencialmente do comércio e da restauração. Para além disso é uma rua que apresenta algumas unidades de hotelaria e alguns edifícios desocupados ou em reabilitação – muitos dos quais irão aumentar a oferta hoteleira desta rua.

Depois destas observações mais globais da rua, retiraram-se algumas conclusões que se passam a elencar:

- a rua apresenta uma maior movimentação durante a tarde, apresentando por isso um maior número de pessoas a passear, a andar, nas esplanadas e serviços de restauração;
- o ruído causado pelas obras existentes e pelos artistas de rua podem ser preponderantes nas medições do mesmo;

- em geral, as pessoas que passam pela rua costumam percorrê-la toda ou praticamente toda e não ocorrendo um troço específico por onde passem mais pessoas.

5.4. ANÁLISE DOS DADOS PRELIMINARES RECOLHIDOS

5.4.1. CONTEXTO

Inicialmente, para facilitar o trabalho e tentar chegar a conclusões mais reais e precisas, decidi dividir-se a Rua das Flores em três troços. O primeiro troço era constituído pelo Largo de S. Domingos (LSD); o segundo era delimitado desde o LSD até à Rua Trindade Coelho e o terceiro era definido desde a Rua Trindade Coelho à Praça Almeida Garrett (PAG) (ver Figura 19).



Figura 19 – Diferentes troços considerados para a Rua das Flores [19].

Em cada troço foram definidos pontos onde foram feitas as medições e contagens das pessoas. Os troços número 1 e 3 eram apenas definidos por um ponto, uma vez que são troços de pequena dimensão e por isso não precisavam de mais do que um ponto para serem caracterizados. Ou seja, o ponto 1 situava-se no LSD e o ponto 5 situava-se na PAG. Já o segundo troço foi definido por três pontos de medição e contagens. Na Figura 20 é possível visualizar a localização dos cinco pontos definidos para a realização do trabalho de campo. Para ser mais exato, o ponto nº 2 estava situado

mesmo em frente ao Café *Jeronymo* (nº 61), o ponto nº 3 situava-se em frente à Chocolataria das Flores (nº 121) e o ponto nº 4 localizava-se na Ourivesaria Baptista (nº 235).

Em cada ponto foram feitas, simultaneamente, medições de ruído ambiente e contagens de peões consoante o sexo e o tipo de calçado das pessoas.



Figura 20 - Localização dos cinco pontos de contagem e medição considerados para a Rua das Flores [19].

5.4.2. MEDIÇÕES DE RUÍDO AMBIENTE

As medições consistiram em colocar o sonómetro ligado, a 1,5 m de altura, apoiado no tripé durante as contagens. O sonómetro utilizado era de classe I, integrador, que fazia o registo completo e sequencial de todo o período de medição, para diversos parâmetros acústicos como o L_{Aeq} e o espectro por bandas de terço de oitava.

Mais tarde, com a ajuda do programa *DBTrait*, foi possível analisar as variações do nível sonoro ao longo de todos os períodos de medição e obter o nível sonoro contínuo equivalente (L_{Aeq}) de cada medição, para o mesmo período das contagens de peões. No Quadro 6 apresentam-se os valores de L_{Aeq} medidos pelo sonómetro durante as contagens de peões, em cada um dos pontos.

Quadro 6 – Resumo das medições de ruído ambiente realizadas na Rua das Flores

Local	Início	Fim	L _{Aeq} (dB)	Início	Fim	L _{Aeq} (dB)
	7 junho 2017 - 4ª feira de tarde			8 junho 2017 - 5ª feira de manhã		
1	15h00	15h30	65,8	13h35	14h15	71,4
2				11h05	11h35	64,1
3				10h10	10h40	63,0
4	16h09	16h39	69,2			
5	16h55	17h35	70,1	12h30	13h10	75,3
Local	Início	Fim	L _{Aeq} (dB)	Início	Fim	L _{Aeq} (dB)
	10 junho 2017 - sábado à noite			1 julho 2017 – sábado		
1	19h57	20h37	68,3	11h29	11h44	72,1
				13h25	13h55	69,5
2	20h57	21h27	63,1	12h41	13h11	62,6
3				10h40	10h55	58,2
4	21h43	22h13	63,8	11h59	12h14	64,3
5	22h30	23h10	69,2	11h05	11h20	65,5
				14h12	14h42	67,6

As medições realizadas demonstram que, na Rua das Flores, uma rua pedestre, o nível sonoro de ruído ambiente é bastante elevado, em qualquer um dos dias da semana ou de fim-de-semana em que foi avaliado.

De facto, constata-se que os valores-limite de exposição preconizados no RGR para Zonas Mistas deverão ser excedidos. No Largo de S. Domingos (ponto 1), o valor mínimo de medição foi de 66 dB(A), no Café *Jeronymo* (ponto 2) de 63 dB(A), na Chocolataria das Flores (ponto 3) cerca de 58 dB(A) no sábado de manhã, na Ourivesaria Baptista (ponto 4) de 64 dB(A) e na Praça Almeida Garrett (ponto 5) de 66 dB(A).

Estes valores demonstram a vivacidade desta rua e também o efeito que as múltiplas atividades têm no ruído ambiente, atualmente afetado pelas múltiplas obras que se desenrolam e por atividades lúdicas associadas à existência de turismo.

5.4.3. CONTAGENS DE PEÕES NA RUA DAS FLORES

5.4.3.1. Contagens

Nos dias 7, 8 e 10 de junho de 2017 foi-se para a Rua das Flores com quatro voluntários para se proceder ao trabalho de campo. Os voluntários dividiram-se em dois grupos de dois e definiram em que pontos iam fazer contagens.

Definiu-se o tempo de contagens variável de 30 minutos ou 40 minutos, em função da configuração do local e do número esperado de passagens. As contagens de 30 minutos seriam para os pontos intermédios da Rua das Flores, em que os peões passavam de forma mais ordenada e as contagens de 40 minutos foram reservadas para os extremos da rua, nomeadamente o Largo de S. Domingos e a Praça Almeida Garrett, nas quais a configuração local permitia uma maior aglomeração de peões e um movimento mais desordenado.

No dia 7 de junho (quarta-feira), o registo foi feito à tarde; no dia 8 de junho (quinta-feira), a recolha de dados foi feita durante a manhã e no dia 10 de junho (sábado e feriado), as contagens foram feitas

durante o período da noite. As contagens consistiram em, durante o tempo definido e cronometrado, observar o tipo de calçado das pessoas, contabilizar o número de peões por tipo de calçado e anotar numa folha igual à apresentada no Anexo A. Tal como é possível verificar, nesse boletim, era necessário indicar o local (um dos cinco pontos atrás referidos), a data, a hora de início e fim de contagem, o dia da semana e o responsável por essa contagem. À parte também se fizeram anotações sobre fontes de ruído adicionais que ocorreram durante o período de contagem, nomeadamente, passagem de veículos, bicicletas, malas de viagem, artistas de rua, obras, etc.

Para se saber que tipo de calçado contar e o que contar, dividiu-se o calçado, para cada sexo, em quatro classes de calçado, que correspondiam às classes do calçado que tinha sido objeto de caracterização na câmara reverberante do LAFEUP.

O calçado considerado foi dividido nas quatro classes seguintes:

Feminino	Masculino
<ul style="list-style-type: none"> ▪ salto alto formal ▪ salto alto informal ▪ sandálias rasas ou sapatilhas ▪ havaianas 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ calçado formal ▪ sapatilhas ou sapatos de vela ▪ sandálias ▪ havaianas

Como, em grande parte das vezes, eram dois voluntários por cada ponto, um contava o calçado feminino e outro contava o calçado masculino. Houve vezes em que eram quatro voluntários por ponto, em algumas horas e pontos, em que se via claramente uma maior afluência de pessoas, nomeadamente no Largo de S. Domingos (ponto 1) e na Praça Almeida Garrett (ponto 5), os pontos de “entrada” e “saída” da Rua das Flores. Nesses casos, um voluntário contava o calçado feminino no sentido ascendente da rua, outro o calçado feminino no sentido descendente; um terceiro voluntário contava o calçado masculino no sentido ascendente e o último voluntário contabilizava o calçado masculino no sentido descendente da rua.

Como só se dispunha de um sonómetro, os valores do ruído eram medidos num só ponto enquanto que as contagens podiam e foram feitas em dois locais ao mesmo tempo.

Depois de inseridos os vários resultados numa folha de cálculo, analisaram-se os dados e construíram-se várias tabelas e gráficos para mais fácil interpretação.

Meteorologia dos dias das contagens:

- Dia 7 junho 2017- céu limpo – 25 °C;
- Dia 8 junho 2017 - céu nublado – 19 °C;
- Dia 10 junho 2017 - céu limpo – 22 °C.

Quadro 7 – Caracterização dos momentos de contagem de peões e de monitorização do ruído ambiente, a 8 de junho

Dia	Local	Hora de		Duração (min)	Sonómetro S (Sim) ou N (Não)
		Início	Fim		
Quinta feira	3	10h10	10h40	30	S
Quinta feira	4	10h10	10h40	30	N
Quinta feira	1	11h00	11h30	30	N
Quinta feira	2	11h05	11h35	30	S
Quinta feira	5	12h30	13h10	40	S
Quinta feira	1	13h35	14h15	40	S

Foi então possível tomar nota das horas e locais dos valores das contagens relativas aos diversos dias de contagem, para exemplificação, apresenta-se no Quadro 7 e no Quadro 8 os valores correspondentes ao dia 8 de junho.

Quadro 8 – Resumo das contagens de peões para o dia 8 de junho 2017

Local	Mulheres				Homens				Total
	Salto alto formal	Salto informal	Sandálias rasas ou sapatilhas	Havaianas	Calçado formal	Sapatilhas ou sapatos tipo vela	Sandálias	Havaianas	
3	6	8	168	28	5	181	14	7	8
4	1	13	184	7	4	162	14	2	13
1	6	13	227	30	6	263	19	7	13
2	4	15	276	21	8	247	21	10	15
5	8	46	494	45	21	496	34	11	46
1	4	43	463	44	22	418	33	12	43

Para se chegar ao número de pessoas que passavam por hora, foi feita uma proporção direta. Por exemplo, se em 30 minutos passavam 602, então numa hora passariam duas vezes mais, ou seja, 1204 pessoas. Depois de feitos os cálculos para todas as contagens, foi possível começar com as previsões relativas à passagem de peões para as 24h do dia, em dia de semana e em dia de fim-de-semana.

5.4.3.2. Previsões e estimativas

As previsões e estimativas foram efetuadas no sentido de se ajustar um modelo, tanto para a semana (usando os dados das contagens feitas em dias de semana) como para o fim-de-semana (usando os dados das contagens feitas no sábado), à realidade da Rua das Flores.

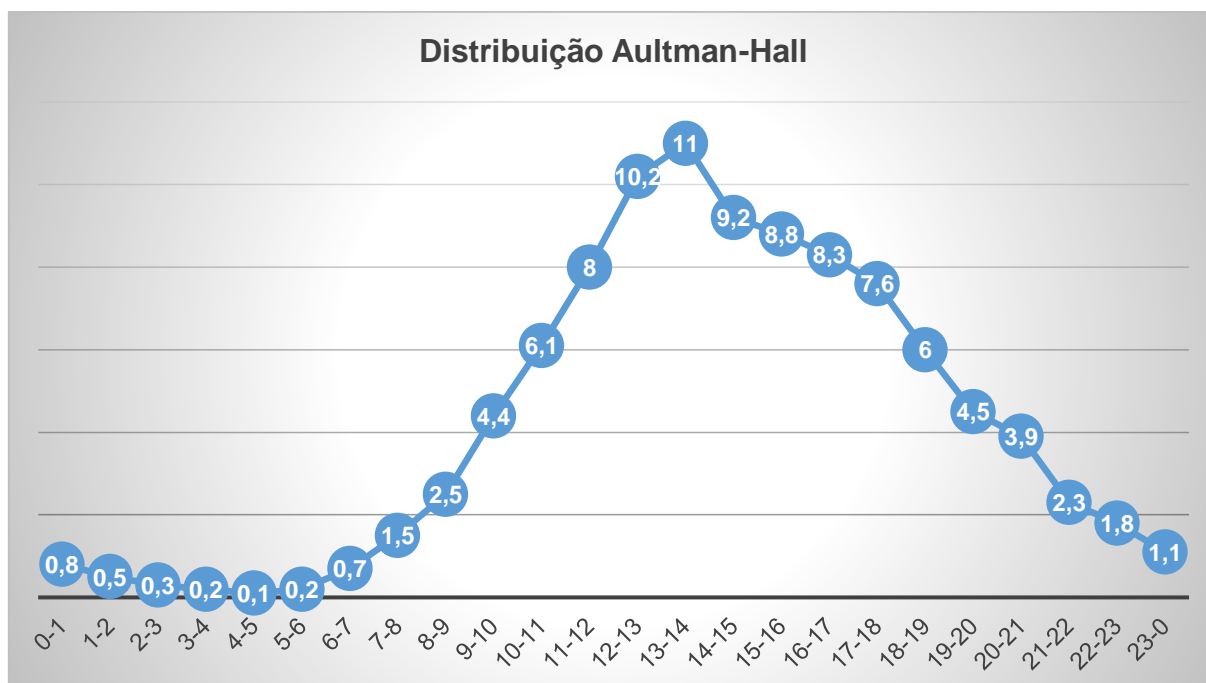


Figura 21 - Distribuição horária média anual de peões em Montpelier (Vermont, USA), segundo Aultman-Hall [20]

A distribuição inicialmente utilizada para fazer as estimativas de peões que passavam na Rua das Flores foi a de Aultman-Hall *et al.*[20], obtida a partir de uma recolha de dados com a duração de um ano em Montpelier, Vermont, USA, segundo a qual, pesando as atividades dos transeuntes, as condições meteorológicas e o movimento efetivamente monitorizado, se obteve uma média horária anual que se reporta na Figura 21.

Analisando a distribuição de *Aultman-Hall*, podemos concluir que esta tem um peso muito significativo pela hora de almoço, essencialmente entre as 12h e as 15h e depois vai decrescendo ao longo do dia, não apresentando qualquer valor apreciável ao final da tarde ou pela hora de jantar. Atendendo ao facto de se estar (na Rua das Flores) perante uma rua pedestre, com uma grande afluência de turistas e visitantes e com múltiplas atividades que motivam deslocações e concentração de peões, considerou-se que esta distribuição poderia não ser a mais aconselhada.

Constatou-se este facto quando, segundo o método utilizado para prever o número de pessoas por hora, relativamente aos valores de sábado (dia 10 de junho (feriado)) e como só se tinham feito contagens durante a noite que têm um menor peso na distribuição, se observou que as estimativas estavam a dar valores que não eram representativos da realidade e muito inferiores ao espectável. Em oposição, as estimativas que tiveram por base contagens à hora de almoço conduziram a um volume de passagem de peões muito superior ao que se verificava na realidade.

Por este motivo, foi necessária uma nova ida até à Rua das Flores para voltar a fazer novas contagens e medições. Foi no dia 1 de julho, um sábado e as contagens, desta vez, foram feitas durante 15 ou 30 minutos, tendo em consideração o facto de se estar no troço central da Rua das Flores, ou nos seus extremos, Largo de S. Domingos e Praça Almeida Garrett. Foi então possível tomar nota das horas e locais das contagens e de monitorização do ruído (ver Quadro 9), assim como dos valores das contagens relativas ao dia 1 de julho 2017 (ver Quadro 10).

Meteorologia: dia 1 de julho - céu limpo - 23°C - dia ventoso (11 km/h)

Quadro 9 - Caracterização dos momentos de contagem de peões e de monitorização do ruído ambiente, em 1 de julho

Dia	Local	Hora de		Duração (min)	Sonómetro S (Sim) ou N (Não)
		Início	Fim		
Sábado	2	10h32	10h47	15	N
Sábado	3	10h40	10h55	15	S
Sábado	4	10h40	10h55	15	N
Sábado	5	11h05	11h20	15	S
Sábado	1	11h29	11h44	15	S
Sábado	3	11h58	12h13	15	N
Sábado	4	11h59	12h14	15	S
Sábado	2	12h41	13h11	30	S
Sábado	1	13h25	13h55	30	S
Sábado	5	14h12	14h42	30	S

Quadro 10 - Resumo das contagens de peões para o dia 1 de julho

Local	Mulheres				Homens				Total
	Salto alto formal	Salto informal	Sandálias rasas ou sapatilhas	Havaianas	Calçado formal	Sapatilhas ou sapatos tipo vela	Sandálias	Havaianas	
2	2	5	98	10	0	90	8	5	218
3	4	14	112	39	4	97	12	9	291
4	0	5	95	7	6	95	14	4	226
5	1	18	102	14	6	113	9	0	263
1	4	11	143	25	9	114	10	4	320
3	1	4	207	8	5	151	18	3	397
4	2	29	139	43	7	143	15	3	381
2	1	19	374	36	18	296	24	10	778
1	4	21	436	38	9	293	27	4	832
5	1	24	326	30	6	240	13	9	649

Para se chegar ao número de pessoas que passavam por hora, à semelhança que foi realizado anteriormente, segundo o procedimento já descrito, foi feita uma proporção direta. Por exemplo, se em 15 minutos passavam 320, então numa hora passavam 4 vezes mais, ou seja, 1280 pessoas.

Com base nestas novas contagens e integrando ainda os resultados das contagens iniciais foi feito o ajuste da distribuição média horária de peões para a Rua das Flores. Na Figura 22 está representada graficamente essa distribuição final, com a variação da percentagem de peões que circula consoante as horas do dia.

Pode verificar-se que esta distribuição está ajustada à realidade em presença, apresentando "picos" às horas de almoço e jantar, quando há mais pessoas na Rua das Flores. De facto, constata-se que, entre as 12h e as 15h e entre as 18h e as 22h, o número de pessoas que lá permanecem e passam é bastante elevado.

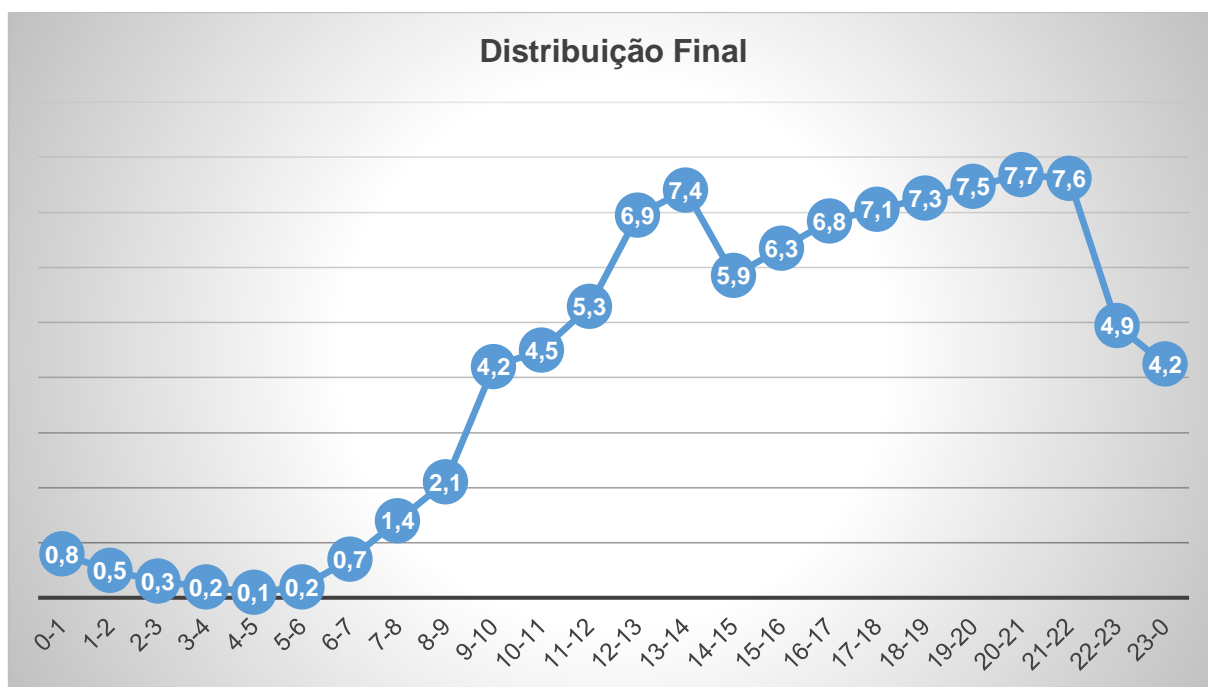


Figura 22 - Distribuição média horária final, ajustada à realidade da Rua das Flores

No Quadro 11 apresentam-se as estimativas associadas ao fim de semana, bem como a indicação dos métodos que se utilizaram para chegar a uma distribuição média horária mais próxima da realidade da Rua das Flores.

Os valores a **negrito** são os valores extrapolados das contagens reais e os restantes valores foram obtidos por extrapolação entre a distribuição final e os valores reais.

Considerou-se, ainda, atendendo às contagens realizadas e às observações resultantes do trabalho de campo, que a distribuição média horária de um dia da semana se poderia assemelhar à do fim-de-semana. Como tal, as estimativas que se realizaram para os dias da semana entraram em consideração com a mesma distribuição média horária do fim-de-semana.

Com base nesta distribuição, indicam-se no Quadro 12 as estimativas relativas à passagem de peões efetuadas para a semana. Os valores assim obtidos permitiram estimar o volume de peões que frequenta a Rua das Flores, para cada uma das horas do dia, e posteriormente, para os períodos diurno, do entardecer e noturno.

Quadro 11 – Estimativa da distribuição média horária anual de peões, na Rua das Flores, considerando as contagens realizadas e a distribuição média horária ajustada, para um dia do fim-de-semana

Horas	Pontos					Método utilizado	Distribuição Final
	1	2	3	4	5		
0-1	194	155	207	161	159	distribuição de Aultman-Hall <i>et al</i>	0,8
1-2	121	97	129	100	99		0,5
2-3	73	58	78	60	60		0,3
3-4	48	39	52	40	40		0,2
4-5	24	19	26	20	20		0,1
5-6	48	39	52	40	40		0,2
6-7	169	136	181	141	139		0,7
7-8	339	271	362	281	278		1,4
8-9	508	407	543	422	418		2,1
9-10	1016	814	1086	844	835		4,2
10-11	1089	872	1164	904	895	distribuição real	4,5
11-12	1280	1185	1369	1063	1052		5,3
12-13	1681	1556	1588	1524	1382		6,9
13-14	1664	1659	1693	1625	1473		7,4
14-15	1416	1310	1337	1283	1298	interpolação	5,9
15-16	1535	1421	1450	1392	1408		6,3
16-17	1655	1532	1512	1380	1517	distribuição real	6,8
17-18	1706	1579	1611	1546	1564	assumindo crescimento linear	7,1
18-19	1757	1626	1659	1592	1610		7,3
19-20	1807	1673	1707	1638	1657		7,5
20-21	1728	1720	1755	1684	1704	distribuição real	7,7
21-22	1844	1772	1704	1666	1690		7,6
22-23	1196	1107	1130	1084	1085		4,9
23-0	1027	950	970	931	931	distribuição de Aultman-Hall <i>et al</i>	4,2

Quadro 12 - Estimativa da distribuição média horária anual de peões, na Rua das Flores, considerando as contagens realizadas e a distribuição média horária ajustada, para um dia da semana

Horas	Pontos					Distribuição Final	Horas	Pontos					Distribuição Final
	1	2	3	4	5			1	2	3	4	5	
0-1	173	182	177	161	199	0,8	12-13	1500	1581	1536	1402	1733	6,9
1-2	108	114	111	101	125	0,5	13-14	1599	1686	1637	1494	1847	7,4
2-3	65	68	66	61	75	0,3	14-15	1263	1332	1293	1180	1459	5,9
3-4	43	46	44	40	50	0,2	15-16	1370	1444	1403	1280	1582	6,3
4-5	22	23	22	20	25	0,1	16-17	1477	1557	1512	1380	1706	6,8
5-6	43	46	44	40	50	0,2	17-18	1522	1605	1558	1422	1758	7,1
6-7	151	159	155	141	175	0,7	18-19	1567	1652	1605	1465	1810	7,3
7-8	302	319	309	282	349	1,4	19-20	1612	1700	1651	1507	1863	7,5
8-9	453	478	464	424	524	2,1	20-21	1658	1748	1697	1549	1915	7,7
9-10	907	956	928	847	1047	4,2	21-22	1645	1734	1684	1537	1900	7,6
10-11	971	1024	995	908	1122	4,5	22-23	1067	1125	1093	997	1233	4,9
11-12	1142	1204	1169	1067	1319	5,3	23-0	916	966	938	856	1058	4,2

De seguida, foi calculada a média, para cada hora, em todos os pontos, cujo resultado se apresenta no Quadro 13.

Na Figura 23 está representado um gráfico com os valores das estimativas feitas para o fim de semana e para a semana, tendo por base as contagens reais e a distribuição média horária ajustada.

Quadro 13 – Estimativa da média horária de passagens de peões, na Rua das Flores, para um dia da semana e de fim-de semana

Horas	Média Fim de Semana	Média Semana	Horas	Média Fim de Semana	Média Semana
0-1	175	178	12-13	1546	1550
1-2	109	112	13-14	1623	1653
2-3	66	67	14-15	1329	1306
3-4	44	45	15-16	1441	1416
4-5	22	22	16-17	1519	1526
5-6	44	45	17-18	1601	1573
6-7	153	156	18-19	1649	1620
7-8	306	312	19-20	1697	1667
8-9	460	468	20-21	1718	1713
9-10	919	937	21-22	1735	1700
10-11	985	1004	22-23	1121	1103
11-12	1158	1180	23-0	962	947

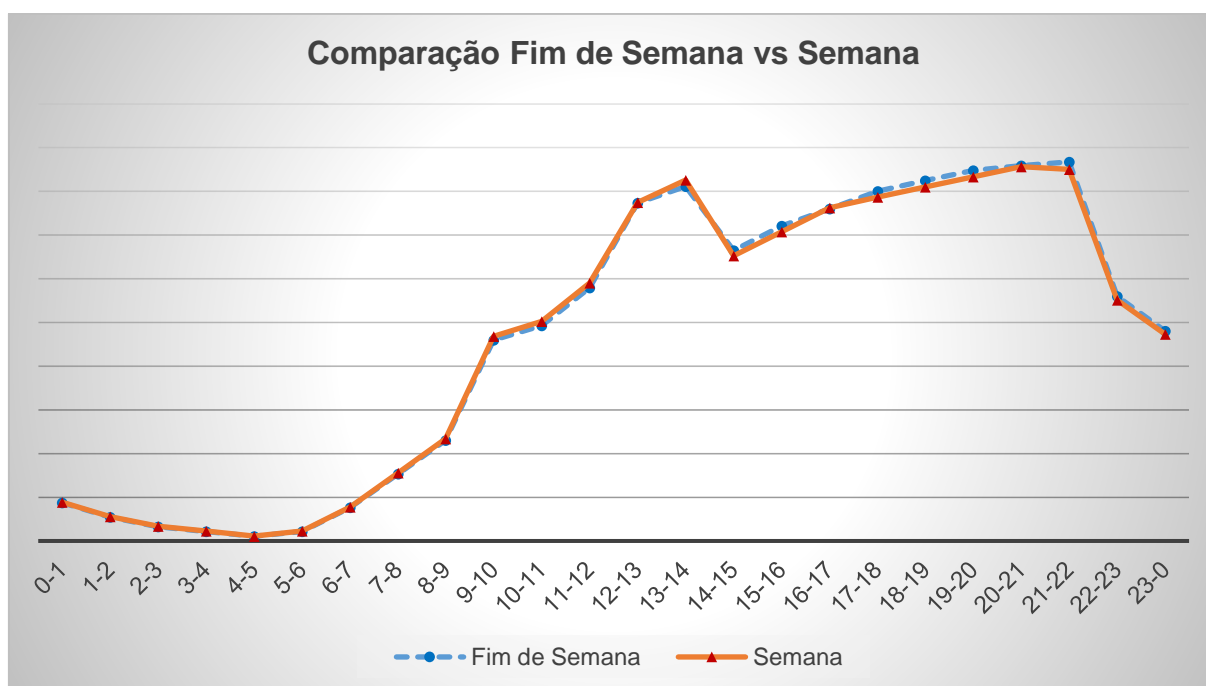


Figura 23 - Comparação dos fluxos pedestres do fim de semana e da semana na Rua das Flores

Analisando o gráfico da Figura 23, pode verificar-se que o número de pessoas que passam durante a semana e o fim de semana são muito semelhantes. No entanto, durante a semana, na parte da manhã, incluindo a hora de almoço (das 9h às 14h), passam ligeiramente mais pessoas do que durante o fim de semana. Por outro lado, a partir das 14h até às 22h, o fluxo de pessoas é maior durante o fim de semana do que durante a semana.

A primeira constatação poderá querer dizer que as pessoas durante a semana se deslocam para o trabalho e passam por aquela rua e provavelmente muitas delas almoçam na mesma zona.

A segunda apreciação, poderá querer dizer que durante o fim-de-semana há bastantes turistas a aproveitar para visitar a cidade e que passam por esta rua.

6

MODELAÇÃO DO NÍVEL DE RUÍDO AMBIENTE NA RUA DAS FLORES

6.1. INTRODUÇÃO

Através da utilização do programa *CadnaA*, foi possível proceder à simulação no computador. Com toda a informação disponível e dados recolhidos, procedeu-se à introdução dos mesmos no programa para obter as várias simulações.

Optou-se por fazer três simulações:

- S1 - Apenas com o ruído do andar das pessoas;
- S2 - Com o ruído do andar e falar das pessoas;
- S3 - Com o ruído do andar e falar das pessoas e o ruído das obras e dos artistas de rua.

Para cada simulação foram calculados os resultados para o indicador de ruído diurno-entardecer-noturno (L_{den}) e para o indicador noturno (L_n).

Também no programa definiram-se e colocaram-se no devido local (cinco locais) as fontes recetoras que no programa se apresentam como círculos axadrezados a preto e branco. De referir que para o ponto 1 (Largo de S. Domingos) foram colocados dois recetores (pontos 1a e 1b).

Definiu-se também toda a zona em estudo como *Zona Mista*, de acordo com o preconizado no PDM do Porto.

Para todas as simulações fez-se a avaliação dos edifícios, representado por um círculo branco em cima de cada edifício avaliado. Este círculo está dividido em três secções. A primeira (de cima) apresenta os pisos do edifício cujos níveis de exposição sonora ultrapassam os valores-limite definidos pelo RGR. Por exemplo se aparecer "I-III", significa que desde o primeiro ao terceiro piso do edifício em questão, os valores do nível de ruído ambiente, em dB(A), ultrapassam os limites definidos pela legislação. Na segunda secção (em baixo do lado esquerdo) aparece o valor máximo do L_{den} desse mesmo edifício e na terceira secção (em baixo do lado direito) aparece o valor máximo do L_n .

6.2. SIMULAÇÃO INICIAL (S1)

A primeira simulação foi feita, apenas a partir do ruído do andar das pessoas na Rua das Flores.

Definiram-se oito fontes lineares (uma para cada tipo de calçado e para cada sexo) ao longo da rua e introduziram-se todos os espectros correspondentes a cada tipo de calçado e marcha, por sexo (descritos no Quadro 3 e no Quadro 4).

Assumiu-se, para efeitos de cálculo, que na Rua das Flores circulava o número máximo de pessoas estimado, com uma velocidade constante de 2 km/h, ou seja, aproximadamente, em regime de “passeio”.

Para calcular o número máximo de pessoas a introduzir no programa, foi necessário calcular a percentagem peões de cada sexo e que andavam com cada tipo de calçado. Para tal, determinou-se a percentagem de peões por sexo, seguidamente a percentagem de peões com cada tipo de calçado e, por fim, os valores apresentados no Quadro 14 e no Quadro 15 correspondem ao pretendido, ou seja, são a percentagem do respetivo sexo, a multiplicar pela correspondente percentagem com esse tipo de calçado.

Por exemplo, o valor 2,6% apresentado na primeira linha do Quadro 14 para o calçado formal foi calculado através da multiplicação da percentagem de homens no ponto 1 no período diurno (50%) pela percentagem de homens nesse mesmo ponto com calçado formal (5,2%).

Quadro 14 – Valores da percentagem de homens que circulavam na Rua das Flores com o tipo de calçado indicado

	Ponto	Homens			
		Calçado formal	Sapatilhas ou sapatos tipo vela	Sandálias	Havaianas
Média para dia da semana (período diurno)	1	2,6%	43,0%	3,1%	2,0%
	2	1,4%	41,5%	3,4%	2,0%
	3	1,1%	43,0%	3,4%	1,8%
	4	1,2%	40,9%	3,5%	1,1%
	5	1,8%	40,7%	3,5%	1,1%
Média para dia da semana (período do entardecer e noturno)	1	3,7%	50,2%	3,1%	3,6%
	2	1,7%	41,7%	1,8%	1,3%
	3	2,1%	48,1%	1,7%	0,9%
	4	1,9%	38,8%	0,9%	0,7%
	5	1,6%	52,0%	1,9%	0,4%
Média para fim de semana (período diurno)	1	1,9%	35,4%	3,2%	0,9%
	2	1,2%	39,7%	3,4%	1,8%
	3	1,3%	35,7%	4,3%	1,9%
	4	2,2%	39,8%	5,1%	1,3%
	5	1,6%	40,0%	2,7%	0,7%
Média para fim de semana (período do entardecer e noturno)	1	3,1%	45,2%	3,1%	1,6%
	2	1,4%	41,4%	1,8%	1,1%
	3	2,9%	41,7%	2,1%	1,1%
	4	3,5%	34,6%	1,4%	1,1%
	5	1,4%	52,0%	1,5%	0,3%

Quadro 15 - Valores da percentagem de mulheres que circulavam na Rua das Flores com o tipo de calçado indicado

Mulheres					
	Ponto	Salto alto formal	Salto informal	Sandálias rasas ou sapatilhas	Havaianas
Média para dia da semana (período diurno)	1	0,4%	3,2%	42,0%	3,7%
	2	0,3%	2,8%	42,6%	6,0%
	3	0,7%	2,9%	42,4%	4,6%
	4	0,3%	4,2%	44,2%	4,7%
	5	0,5%	4,3%	43,4%	4,8%
Média para dia da semana (período do entardecer e noturno)	1	0,3%	5,7%	31,4%	2,2%
	2	0,3%	7,8%	38,8%	6,2%
	3	0,5%	4,2%	42,2%	0,6%
	4	0,5%	7,1%	48,7%	1,9%
	5	3,1%	5,9%	31,0%	3,8%
Média para fim de semana (período diurno)	1	0,9%	3,0%	48,5%	6,2%
	2	0,5%	2,4%	46,5%	4,6%
	3	0,8%	2,9%	45,3%	7,7%
	4	0,3%	4,9%	39,3%	7,2%
	5	0,3%	5,3%	44,5%	5,0%
Média para fim de semana (período do entardecer e noturno)	1	0,4%	5,9%	36,8%	3,7%
	2	0,5%	6,7%	42,4%	4,7%
	3	0,6%	4,2%	46,5%	0,9%
	4	0,5%	8,5%	47,5%	2,9%
	5	1,7%	7,3%	31,8%	4,0%

Quadro 16 – Valores médios do tráfego médio horário (TMH) de peões, nos períodos diurno, entardecer e noturno, ao longo dos cinco pontos de contagem da Rua das Flores

Fim de Semana						Semana				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
TMHd	1343	1223	1302	1192	1184	1207	1272	1235	1128	1394
TMHe	1589	1533	1530	1478	1493	1457	1536	1492	1361	1683
TMHn	213	187	212	187	186	190	200	195	178	220

Atendendo ao tipo de dados de entrada do programa *CadnaA* e aos resultados pretendidos para efeitos de comparação, foi necessário calcular também o tráfego médio horário (TMH) de peões para os três períodos do dia (diurno, entardecer e noturno) tanto para o fim-de-semana e como para a semana, cujos resultados se indicam no Quadro 16.

Como resultado das simulações efetuadas para esta primeira situação, com a consideração exclusiva da passagem de peões, obtiveram-se os mapas de ruído que se apresentam na Figura 24 e na Figura 25.

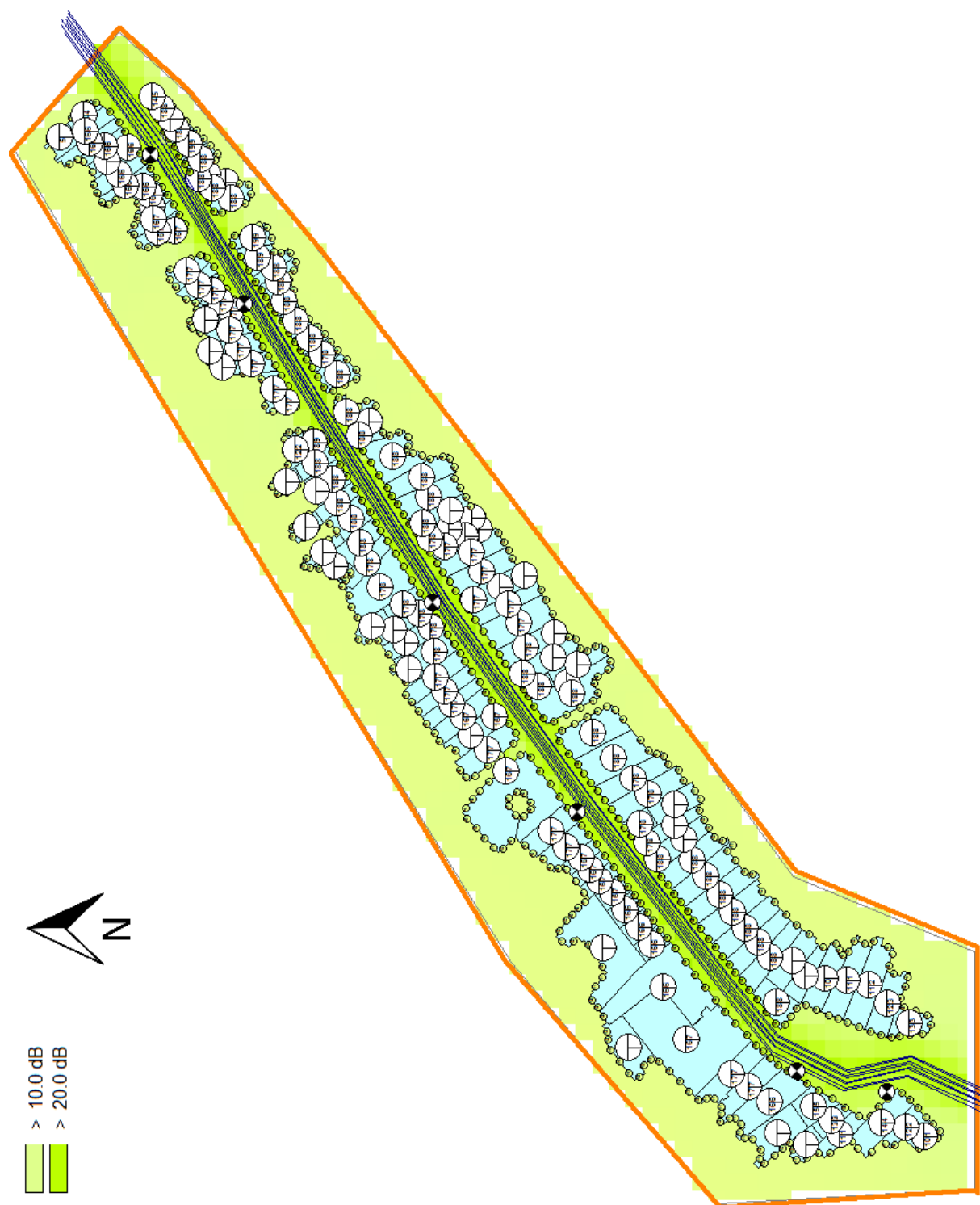


Figura 24 – Mapa de Ruído do indicador de ruído L_{den} da simulação inicial (apenas com a consideração da passagem dos peões) na Rua das Flores

(de 12 dB(A) a 19 dB(A))

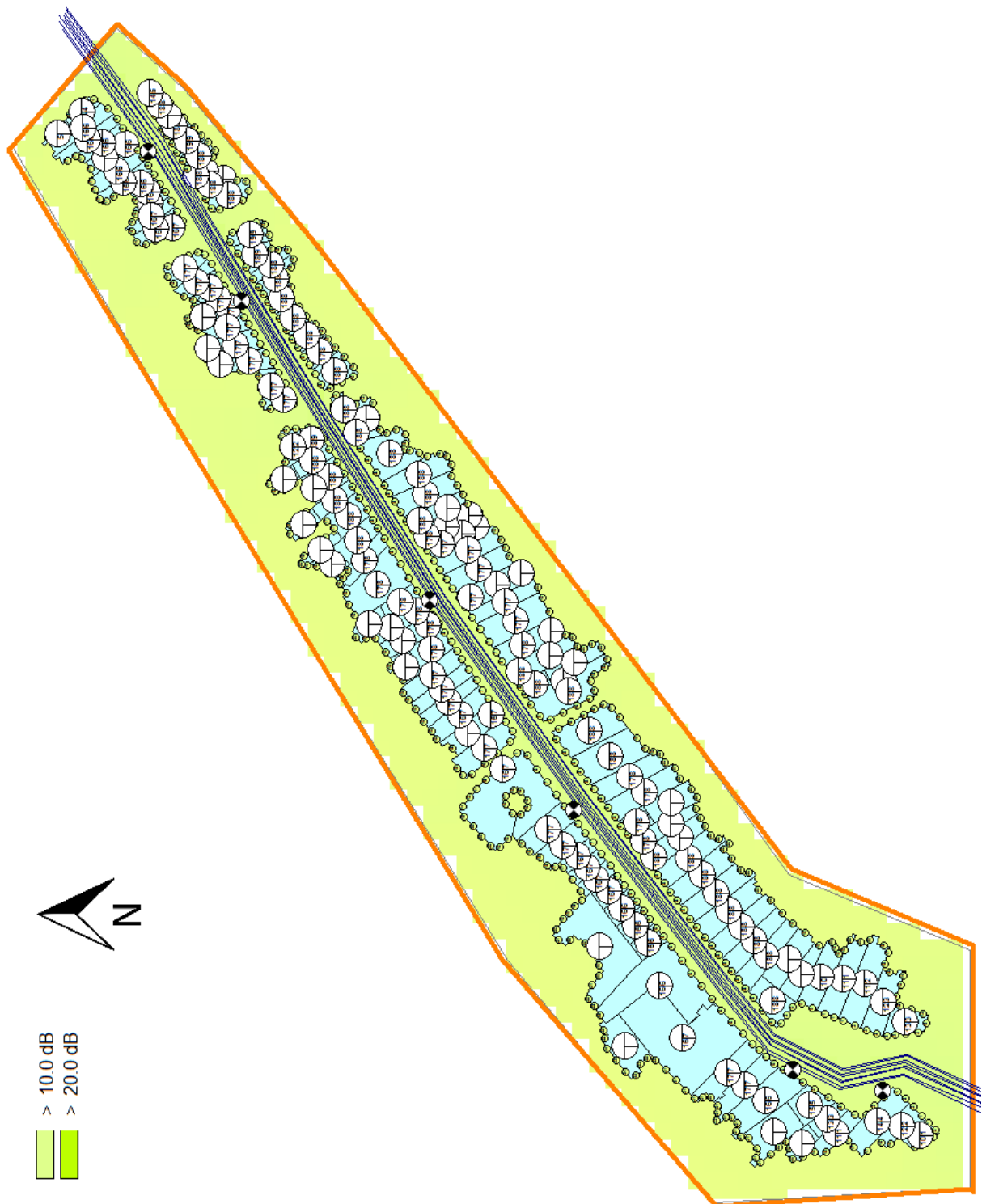


Figura 25 - Mapa de Ruído do indicador de ruído L_n da simulação inicial (apenas com a consideração da passagem dos peões) na Rua das Flores

(de 4 dB(A) a 10 dB(A))

No mapa de ruído apresentado na Figura 24, é possível perceber que o ruído causado apenas pela passagem dos peões, quase em nada altera a paisagem sonora, uma vez que os valores emitidos pela

passagem dos mesmos são muito reduzidos e por isso o mapa se apresenta com cores verde claras que representam valores inferiores a 35 dB(A).

No mapa de ruído da Figura 25 é possível verificar que durante o período noturno, também o ruído emitido pelo andar dos peões não é significativo, aliás é praticamente nulo. Isto porque o “volume” de peões é residual e o correspondente mapa apresenta, como seria de esperar, cores verdes muito claras, mesmo junto das fontes lineares, o que significa que apresenta valores inferiores a 35 dB(A).

Além dos mapas de ruído também se pode ver, no Quadro 17, os valores de ruído que chegam a cada recetor resultantes da passagem de todos os peões com os diferentes tipos de calçado enunciados no capítulo 4.

Quadro 17 – Valores previstos de L_{den} e L_n para a simulação inicial (para todos os recetores)

Ponto	Recetor	L_{den} dB(A)	L_n dB(A)
1a	Largo S Domingos	14,6	4,9
1b	Largo S Domingos	16,3	6,8
2	Café <i>Jeronymo</i>	17,7	8,1
3	Chocolataria das Flores	19,0	9,3
4	Ourivesaria Baptista	18,8	9,2
5	Praça Almeida Garrett	18,1	8,5

Analisando os dados do Quadro 17, pode-se concluir que o ruído causado pelo andar das pessoas não tem grande influência no aumento do ruído em geral. Aliás, os valores que chegam aos recetores são praticamente insignificantes, atendendo ao nível de ruído ambiente usual.

Procurou-se, ainda, perceber a contribuição de cada tipo de calçado para o nível sonoro global estimado. No Quadro 18 é possível constatar as fontes que têm uma maior influência nos recetores e por isso apresentam valores maiores, nomeadamente, as sapatilhas de ambos os sexos, uma vez que são substancialmente mais frequentes do que os outros tipos de calçado e correspondem a um maior “volume” de peões.

Quadro 18 – Valores previstos de L_{den} para a simulação inicial (registados por cada recetor), de acordo com a contribuição de cada fonte sonora modelada

Fontes	1a	1b	2	3	4	5
H Havaianas		1,3	2,3	3,3	3,6	2,5
H Sapato Formal				0,9		
H Sapatilhas	9,4	10,7	12,3	13,8	13,6	13,4
H Sandálias						
M Havaianas	2,7	4,6	6,8	7,8	7,7	6,9
M Sapatilhas	11,2	12,4	13,7	14,9	14,8	13,7
M Salto formal	3,8	7,3	7,3	8,1	8,3	8,0
M Salto Informal	4,2	6,5	7,7	9,1	8,9	8,0

6.3. SEGUNDA SIMULAÇÃO (S2): MARCHA E CONVERSA ENTRE PEÕES

Na simulação S2, não se teve só em conta o ruído causado pelo andar das pessoas (já incluído na primeira simulação), mas também o ruído que as pessoas normalmente fazem nas suas deslocações e que se manifesta pelas suas conversas.

Introduziram-se então duas fontes lineares (uma para cada sexo), contabilizadas para a globalidade dos peões em presença, agrupados por sexo.

O espectro utilizado para representar a conversação normal das pessoas (para cada sexo) foi proposto por Pearson [21], em 1977, e que se traduz pelos níveis de emissão do Quadro 189.

Quadro 19 - Espectro da palavra para os dois sexos a 1 metro de distância, adaptado de [21]

Frequência (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
L_{eq} Homem (dB)	49	51	54	46	40	39	33
L_{eq} Mulher (dB)	25	47	51	42	39	40	34

Para esta simulação obtiveram-se os mapas de ruído representados na Figura 26 e na Figura 27.

Observando o mapa de ruído da Figura 26, é possível constatar que se apresenta com cor verde mais escura, em comparação com os mapas de ruído relativos à simulação inicial. Como desta vez foram introduzidos os dados relativos à palavra do ser humano, é natural que os valores emitidos também sejam mais elevados, embora inferiores a 45 dB(A). Pode-se então concluir, como já seria de esperar, que o ruído emitido pelas conversas dos peões se sobrepõe ao ruído emitido pelo seu calçado.

Comparando com o mapa de ruído da Figura 25, em que não existia a fonte sonora relativa à palavra dos peões, na Figura 27 o mapa de ruído apresenta-se com uns tons ligeiramente mais escuros, ainda que quase impercetíveis, uma vez que durante o período noturno há muito menos peões a passar pela Rua das Flores, ainda assim com valores abaixo dos 45 dB(A).

Como é natural, esta situação está mais de acordo com a realidade em presença em qualquer rua pedestre, de um centro histórico, com muita frequência de turistas e de peões nas suas passagens diárias, uma vez que nestas situações as pessoas tendem a comunicar entre si e não a caminhar de forma sossegada e calada.

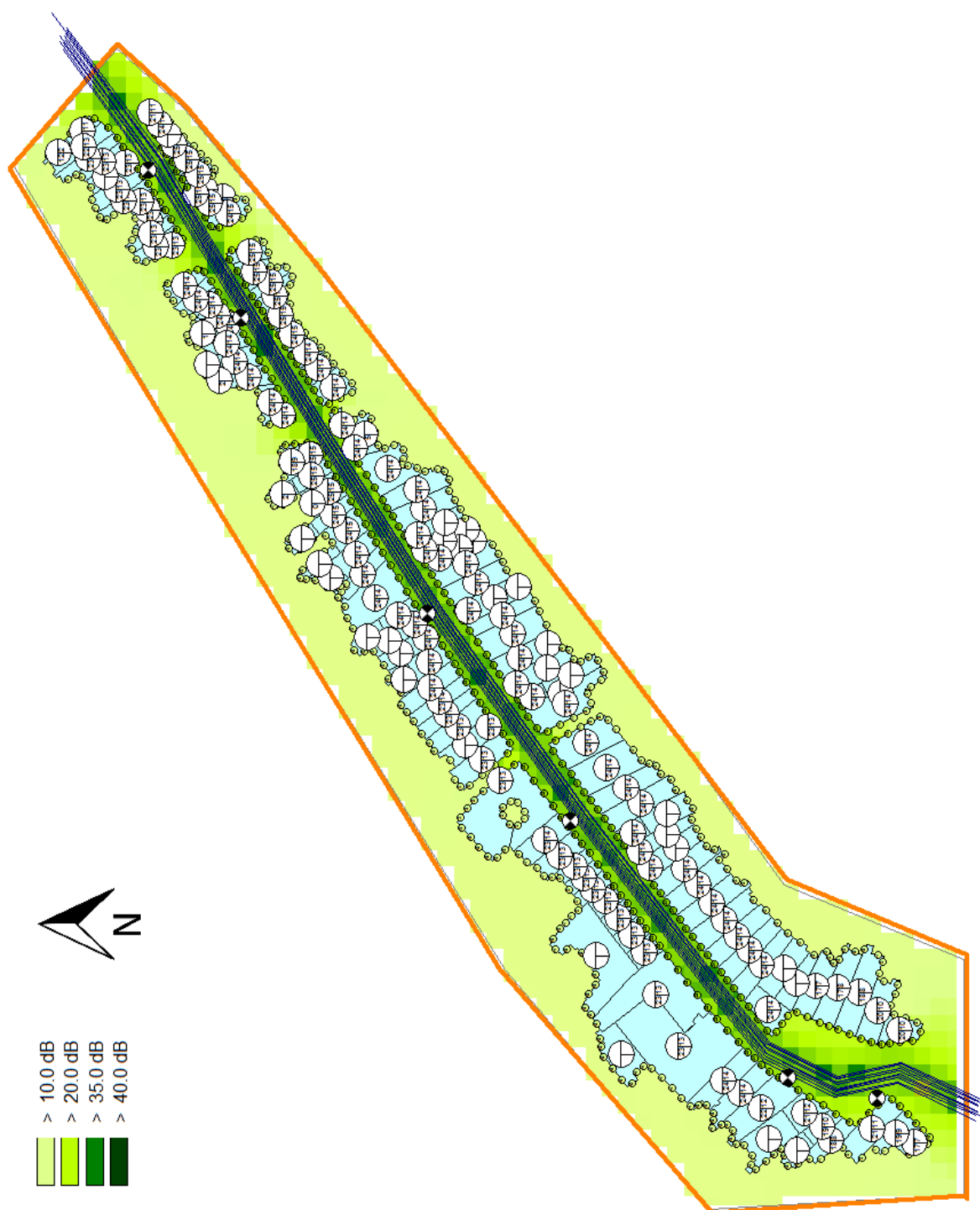


Figura 26 - Mapa de Ruído do indicador de ruído L_{den} da simulação S2 (com a consideração da passagem dos peões e conversa entre eles) na Rua das Flores
(de 20 dB(A) a 27 dB(A))

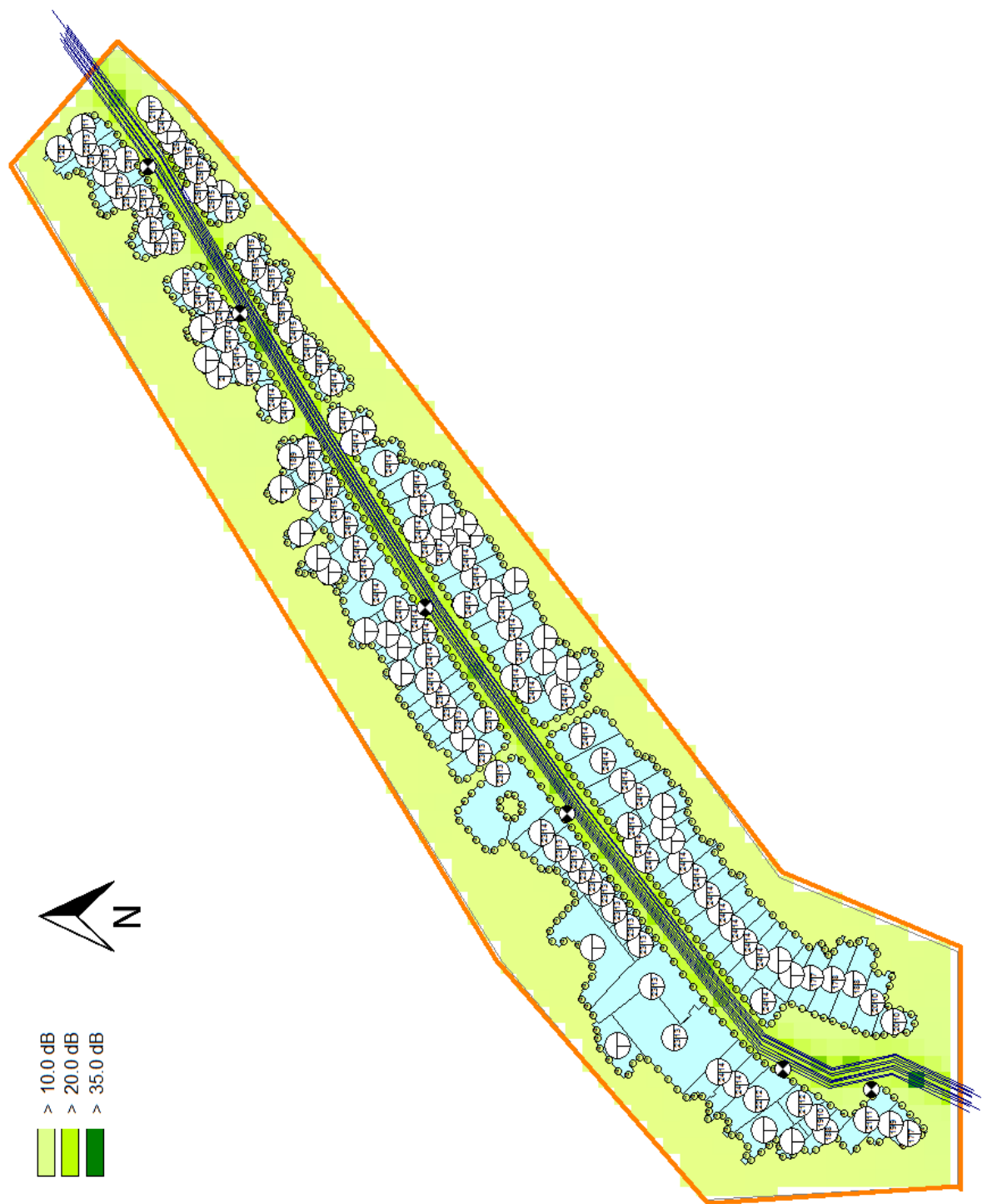


Figura 27 - Mapa de Ruído do indicador de ruído L_n da simulação S2 (com a consideração da passagem dos peões e conversa entre eles) na Rua das Flores

(de 10 dB(A) a 17 dB(A))

Através da análise do Quadro 20, pode-se concluir que, com a introdução do ruído causado pelas pessoas a falar, os valores de L_{den} e L_n subiram um pouco, mas ainda assim não deixam de ser pouco significativos, no contexto dos valores mais usuais de ruído ambiente.

Quadro 20 - Valores previstos de L_{den} e L_n para a simulação S2 (para todos os recetores)

Ponto	Recetor	L_{den} dB(A)	L_n dB(A)
1a	Largo S Domingos	21,4	11,5
1b	Largo S Domingos	23,2	13,3
2	Café <i>Jeronymo</i>	24,5	14,7
3	Chocolataria das Flores	26,0	16,1
4	Ourivesaria Baptista	25,8	15,9
5	Praça Almeida Garrett	24,5	14,6

Quadro 21 - Valores previstos de L_{den} para a simulação S2 (registados por cada recetor), de acordo com a contribuição de cada fonte sonora modelada (H: Homem e M: Mulher)

Fontes	1a	1b	2	3	4	5
H Havaianas			0,6	3,3	3,6	2,5
H Sapatilhas	8,3	10,7	12,3	13,2	13,6	13,4
H Sandálias						
H Falar	18,9	21,0	21,7	23,5	23,3	21,6
M Salto Informal			7,7	8,3		
M Sapatilhas	9,7	11,8	13,7	14,9	14,8	13,7
M Salto formal		7,3	6,4	8,1	8,3	7,4
M Palavra	16,4	16,8	19,2	20,1	20,0	19,2

Depois da análise do Quadro 21, conclui-se que a conversação, tanto das mulheres como dos homens, passa a ser a fonte sonora predominante, que se sobrepõe aos outros ruídos, apresentando valores mais elevados.

6.4. SIMULAÇÃO (S3): TODAS AS FONTES SONORAS EM PRESENÇA

Na simulação S3, para além da existência das fontes sonoras já existentes na simulação S2, introduziram-se as fontes sonoras das obras de reabilitação existentes e dos artistas de rua.

As fontes sonoras relativas ao ruído existente das obras estão representadas por uma cruz cor de laranja e as fontes sonoras relativas ao ruído emitido pelos artistas de rua estão representados por uma cruz de cor verde claro (Figura 30).

Para saber o espectro das obras e dos artistas, foi necessário recorrer aos dados retirados do sonómetro, identificar os momentos e as localizações em que decorriam as obras e, com essa informação, obter os dados pretendidos e depois converter para bandas de oitava, que constituíam a forma de introdução dos dados no programa de simulação.

No Quadro 22 apresentam-se os valores obtidos, a partir das medições realizadas em simultâneo com as contagens. Dessas medições extraíram-se os dados que correspondiam a períodos em que o ruído proveniente das obras era o predominante, “abafando” todas as outras fontes em presença e correspondendo a uma situação equivalente à da exclusividade da presença das obras de reabilitação.

Este procedimento foi realizado para os períodos de medição nos pontos 3 e 4, Chocolataria e Ourivesaria, em frente aos quais estavam a decorrer as ditas obras.

Analisando o Quadro 22, é possível constatar que os valores medidos na Ourivesaria são um pouco mais elevados ($L_{eq} = 74,4$ dB) do que os da Chocolataria ($L_{eq} = 66,5$ dB), uma vez que a primeira se encontra mais próxima das obras existentes.

Quadro 22 – Valores médios extraídos dos períodos de medição na Rua das Flores, correspondentes a ruído proveniente exclusivamente das obras de reabilitação, nos pontos 3 e 4

Frequência (Hz)	Chocolataria (dB)	Ourivesaria (dB)
31	59,5	63,6
63	60,4	63,3
125	56,2	63,8
250	55,7	67,5
500	58,8	66,9
1000	57,5	66,7
2000	54,2	66,6
4000	50,3	59,5
8000	47,7	49,5

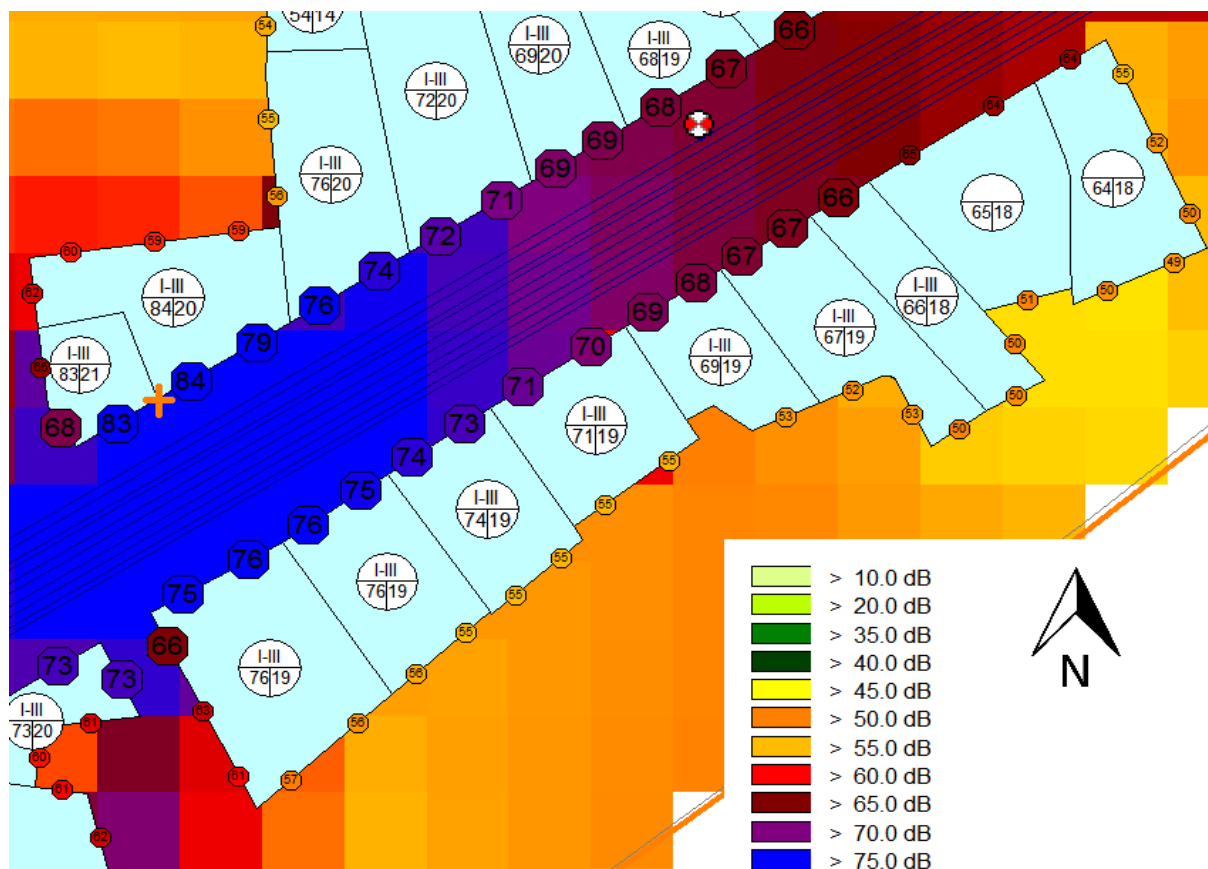


Figura 28 – Mapa de Ruído do indicador de ruído L_{den} da influência das obras no recetor localizado na Ourivesaria Baptista (Rua das Flores) (cruz laranja indica as obras)

Na Figura 28 pode-se observar com maior clareza o exemplo da influência das obras (sinalizadas pela cruz a laranja) na rua, nos edifícios, nas suas fachadas e no recetor localizado na Ourivesaria (círculo axadrezado). Este último, neste caso, encontra-se a vermelho e branco, uma vez que não cumpre com os valores estabelecidos pelo RGR, para zonas mistas.

Em relação à avaliação dos edifícios pode ver-se também os que estão em conformidade com a lei e os que não estão. Por exemplo um dos edifícios junto da fonte pontual das obras, apresenta um valor de L_{den} de 84 dB(A) que está claramente acima do previsto na lei, ou seja, $L_{den} \leq 65$ dB(A) e $L_n \leq 55$ dB(A).

Apresentam-se ainda os valores médios medidos durante os períodos em que havia artistas de rua a atuar e tocar no Quadro 23. O procedimento seguido para obter o valor dos espectros foi o já descrito para as obras de reabilitação.

Foram considerados três pontos. Nos pontos 1 e 5 (Largo de S. Domingos e Praça Almeida Garrett, respetivamente) tocaram os mesmos músicos (flauta transversal e guitarra clássica, ambos amplificadas) e no ponto 2 (perto do Café *Jeronymo*) tocaram percussão uns jovens (aos quais se chamou "STOMP" com *cajón* e a cantar). Estes três pontos estão representados pelas cruzes de cor verde na Figura 30.

Quadro 23 – Valores médios extraídos dos períodos de medição, correspondentes a ruído proveniente exclusivamente dos períodos de música nos pontos 1, 2 e 5

Frequência (Hz)	LSD (dB)	PAG (dB)	STOMP (dB)
31	62,6	61,4	52,1
63	61,5	66,1	54,4
125	62,4	61,8	53,1
250	68,3	71,4	64,0
500	65,3	74,1	61,3
1000	66,5	69,7	62,9
2000	58,2	63,9	66,3
4000	50,7	60,0	62,5
8000	40,6	47,1	48,9

Os músicos que tocaram nos pontos 1 e 5 são os que apresentam valores de ruído mais elevados ($L_{eq} = 73,1$ dB e $L_{eq} = 77,7$ dB respetivamente). Os STOMP estiveram durante um período de tempo menor, mas ainda assim eram algo ruidosos ($L_{eq} = 71,0$ dB).

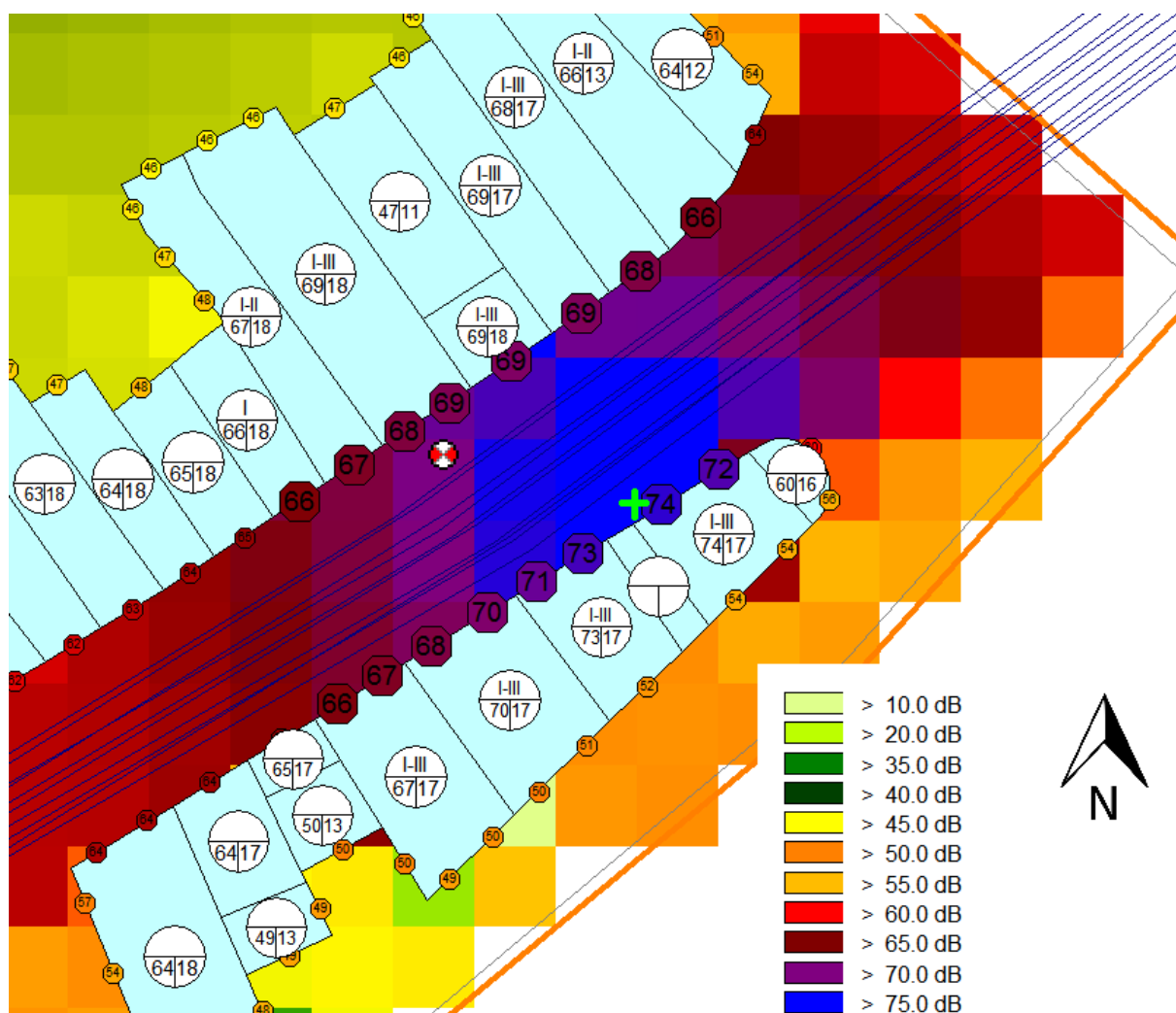


Figura 29 - Mapa de Ruído do indicador de ruído L_{den} , contemplando a influência dos músicos no recetor localizado no ponto 5 na Rua das Flores (cruz verde indica artistas de rua)

Pode-se verificar, através da Figura 29 que o ruído emitido pelos músicos na Praça Almeida Garrett representados pela cruz verde, faz com que o ruído captado pelo recetor 5 (esfera axadrezada a vermelho e branco) não esteja em conformidade com a lei (pois está a vermelho e branco), ou seja, não cumpre com os requisitos correspondentes a zona mista.

Na Figura 30 é possível ver o mapa de ruído da Rua das Flores com todas as fontes sonoras inseridas. É então fácil de prever que algumas zonas não estão em conformidade com a lei, uma vez que há recetores que se encontram a vermelho e branco. Para além disso o mapa encontra-se bastante mais colorido uma vez que as fontes sonoras pontuais estão ativas e a emitir ruído. Uma das conclusões que se pode tirar é que os ruídos emitidos por estas fontes pontuais inseridas, se sobrepõe na totalidade ao ruído emitido pelo calçado, andar e conversação dos peões.

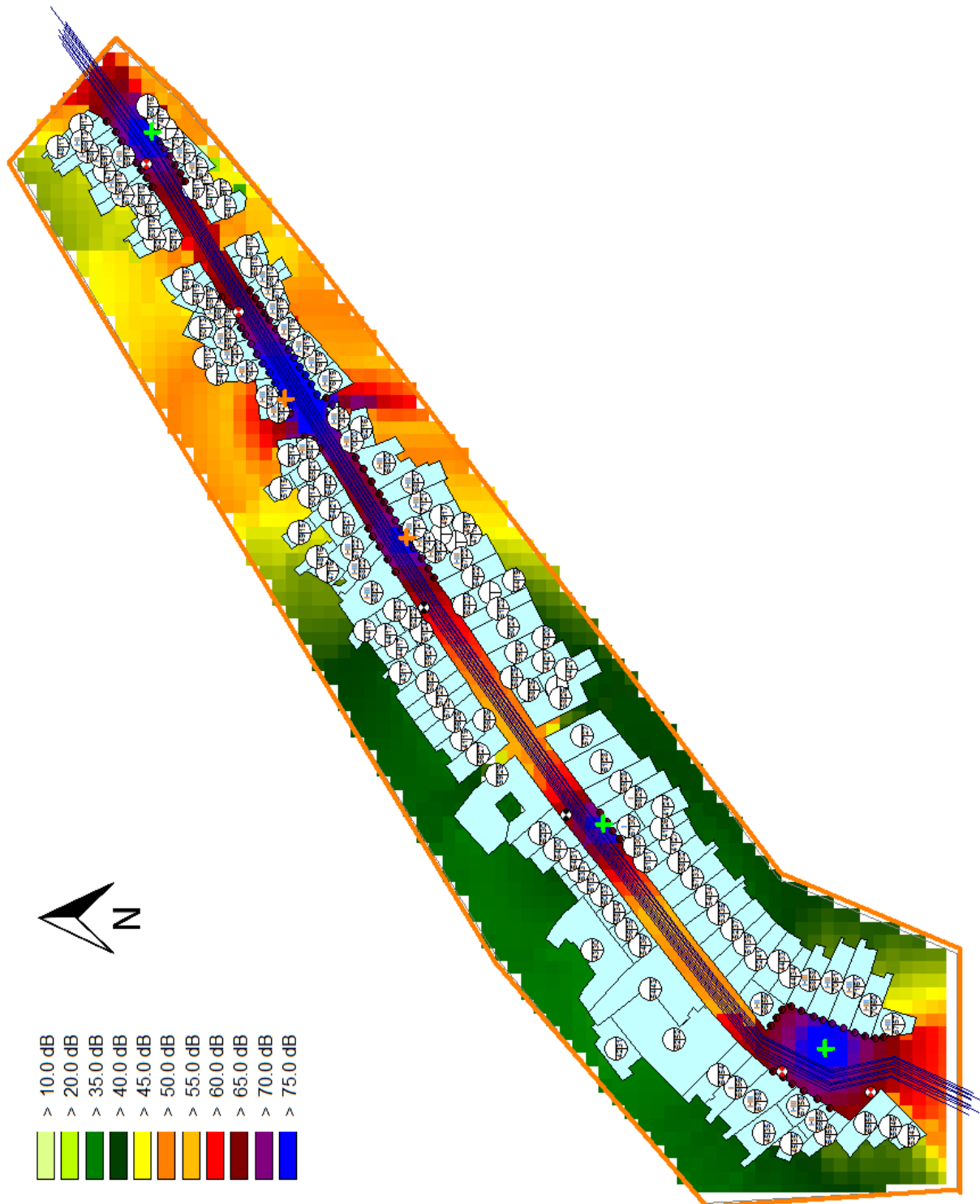


Figura 30 - Mapa de Ruído do indicador de ruído L_{den} da simulação S3 (com a presença de todas as fontes sonoras) na Rua das Flores (cruz laranja indica obras e cruz verde indica artistas de rua)

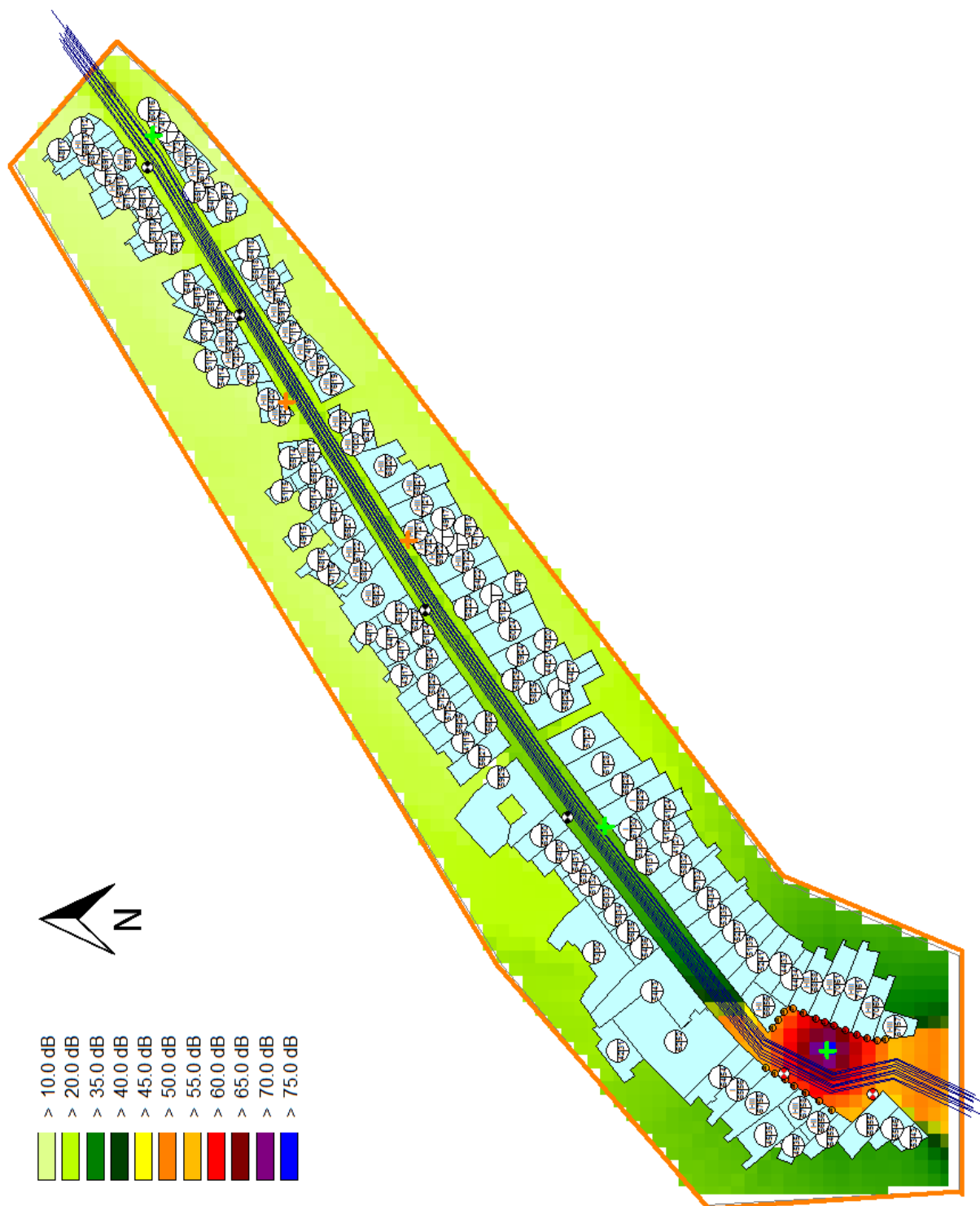


Figura 31 - Mapa de Ruído do indicador de ruído L_n da simulação S3 (com a presença de todas as fontes sonoras) na Rua das Flores (cruz laranja indica obras e cruz verde indica artistas de rua)

Na Figura 31, para a construção do mapa de ruído para o período noturno com a existência das fontes sonoras, foi considerado que nenhuma das obras estaria em funcionamento, como é normal e que para além disso, só os músicos do ponto 1 tocariam durante um determinado período de tempo. Ainda

assim pode verificar-se que os recetores do Largo de S. Domingos se encontram a infringir os limites correspondentes à zona mista ($L_n \leq 55 \text{ dB(A)}$).

Quadro 24 - Valores previstos de L_{den} e L_n na simulação S3 (para todos os recetores)

Ponto	Recetor	$L_{den} \text{ dB(A)}$	$L_n \text{ dB(A)}$
1a	Largo S Domingos 1	65,3	55,8
1b	Largo S Domingos 1	67,4	58,0
2	Café <i>Jeronymo</i>	63,5	27,0
3	Chocolataria das Flores	61,9	22,1
4	Ourivesaria Baptista	67,0	19,8
5	Praça Almeida Garrett	70,4	18,1

Através da análise do Quadro 24, pode-se concluir que a introdução de fontes sonoras como os artistas de rua e as obras têm um peso bastante importante no ruído geral. Ao acrescentar estas fontes, os valores gerais do L_{den} e do L_n aumentaram consideravelmente e, no caso dos pontos 1, 4 e 5, o L_{den} está acima dos valores limite de exposição indicados para zonas mistas, assim como o L_n no caso do ponto 1.

Quadro 25 - Valores previstos de L_{den} para a simulação S3 (registados por cada recetor para cada fonte)

Fontes	1 ^a	1b	2	3	4	5
Músicos LSD	65,3	67,4	36,4	30,5	27,1	25,4
Músicos PAG			39,2	42,8	52,6	70,3
Músicos STOMP			63,5			
Obras Ourivesaria 2 ^ª A				44,5	57,6	
Obras Ourivesaria 1 ^ª A				48,5	62,5	52,7
Obras Ourivesaria RC				49,1	63,8	53,3
Obras Chocolataria 1 ^ª A				61,3		
Obras Chocolataria RC						
H Havaianas						
H Sapato Formal						
H Sapatilhas				13,2	13,6	13,4
H Sandálias						
H Palavras			21,7	23,5	23,3	21,6
M Salto Informal						
M Havaianas						
M Sapatilhas				13,6	14,8	
M Salto formal				8,1	8,3	7,4
M Palavras				19,6	20,0	19,2

Observando o Quadro 25 é possível constatar que os músicos que tocaram no Largo de S. Domingos são os que têm influência em todos os recetores. Para além disso, o recetor 3 (Chocolataria) é o que apresenta influência de mais fontes sonoras.

Quadro 26 – Comparação dos valores de L_{Aeq} medidos e dos valores de L_{den} estimados

Ponto	Recetor	L_{Aeq} medido (dB)	L_{den} dB(A)
1a	Largo S Domingos 1	69,4	65,3
1b	Largo S Domingos 1	69,4	67,4
2	Café <i>Jeronymo</i>	63,2	63,5
3	Chocolataria das Flores	60,6	61,9
4	Ourivesaria Baptista	65,8	67,0
5	Praça Almeida Garrett	69,5	70,4

No Quadro 26 é possível ver a comparação dos valores medidos e dos valores estimados pela simulação. É importante salientar que se estão a comparar duas grandezas diferentes, no entanto os valores são bastante semelhantes (à exceção do ponto 1^a em que a diferença é maior) e encontram-se dentro da mesma ordem de grandeza, o que indica que a simulação está bastante próxima da realidade. O valor de L_{den} foi simulado tendo em conta que as medições foram feitas maioritariamente no período diurno, o registo de pessoas foi o mesmo que foi contado na Rua das Flores e para além disso considerou-se que não havia obras de reabilitação durante os períodos do entardecer e noturno e não atuavam artistas durante o período noturno.

Pode então concluir-se que os valores simulados são muito parecidos com os da realidade, uma vez que os dados introduzidos na simulação foram os dados reais.

7

CONCLUSÕES

7.1. PRINCIPAIS CONCLUSÕES

Com este trabalho pretendia-se caracterizar a Rua das Flores no que diz respeito às diversas fontes de ruído existentes, em particular às fontes de natureza mais social, às atividades que lá se desenvolvem e ao conforto acústico de todos os que por lá passam.

Procedeu-se ao trabalho de campo com esse mesmo objetivo e, após a caracterização da Rua das Flores, concluiu-se que esta apresenta várias fontes sonoras e diversas atividades económicas e associadas ao turismo. A título de exemplo, a marcha e o tipo de calçado dos transeuntes, a conversação entre os peões, os artistas de rua e a ocorrência de diversas obras de reabilitação do edificado. Quando as primeiras são sobrepostas a outras fontes sonoras, deixam de ser facilmente perceptíveis, como é o exemplo da sobreposição com o ruído causado pelas obras e pelos artistas de rua.

Ao fazer os ensaios na câmara reverberante do LAFEUP, concluiu-se que o calçado feminino tende a ser mais ruidoso que o masculino, que no calçado masculino prevalecem emissões associadas a frequências médias-baixas e que o tipo de marcha adotado pelos peões influencia a emissão sonora e as frequências do ruído emitido.

A Rua das Flores apresenta também um maior fluxo de pessoas à hora de almoço e durante a tarde até à hora de jantar. A diferença entre o fim-de-semana e a semana não é muito significativa a distribuição dos sexos é equitativa (51% do sexo feminino e 49% do sexo masculino). As pessoas descolam-se essencialmente com um calçado mais confortável como as sapatilhas e equivalentes que representam cerca de 42% das opções consideradas. Para além disso foram feitas medições do ruído em simultâneo com as contagens.

Foi possível modelar acusticamente a Rua das Flores através da utilização do programa de simulação acústica, *CadnaA* e como tal pode ser utilizado como ferramenta de previsão para trabalhos futuros. Concluiu-se que a marcha das pessoas não assume grande relevância no ambiente sonoro resultante, a conversa entre transeuntes apresenta alguma importância e que acima de tudo as atividades associadas à presença de obras de reabilitação do edificado e de artistas de rua são as principais condicionantes dos níveis de ruído ambiente medido na Rua das Flores.

Concluiu-se também que as cidades poderão utilizar a metodologia que se utilizou neste trabalho para modelar o ruído emitido nessas cidades, uma vez que os valores de ruído simulados e estimados estão bastante próximos dos valores de ruído medidos reais e assim poder controlar e simular o ruído real em prol da saúde humana.

7.2. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Caso se queira, no futuro, dar continuidade aos trabalhos realizados, poderá ter-se em conta que por exemplo para se obter uma aproximação maior à realidade do número de pessoas contadas, deverão fazer-se mais contagens, durante várias horas (e principalmente nas horas que interessarem e que estejam dentro da gama que se queira), durante mais dias (durante a semana não fazer só à quarta feira e à quinta feira, mas também aos outros dias da semana e durante o fim de semana fazer também ao domingo para além de fazer ao sábado) e com mais voluntários.

Na eventualidade de se querer fazer um trabalho mais completo, poder-se-á ter em conta mais fontes sonoras, como por exemplo, para este caso, as esplanadas existentes, vendedores ambulantes, veículos, animais e sinos da igreja.

Para além disso, poderia ter sido mais próximo da realidade, se antes de se ir para o laboratório fazer medições dos espectros emitidos pelos diferentes tipos de calçado, se se observasse na própria Rua das Flores de um modo mais abrangente, o tipo de calçado que por lá passa, para que quando se fosse para o laboratório medir, mediam-se os tipos de calçado que fossem mais frequentes e assim poder-se-ia associar os espectros com mais rigor, certeza e semelhança.

Uma outra forma para obter resultados mais próximos da realidade, seria fazer medições *in loco* por tipo de fonte sonora. Esta opção levaria a que os dados introduzidos no programa de simulação acústica fossem mais precisos e por consequência levassem a uma simulação bastante próxima daquilo que é a realidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] E. B. Destinations. (2017). *European Best Destination 2017*. Acedido em: <https://www.europeanbestdestinations.com/destinations/porto/>
- [2] A. Carvalho, "Acústica Ambiental e de Edifícios," ed, 2015.
- [3] B. Kjaer, Environmental Noise, B. K. S. V. M. A/S, ed., Denmark, 2000, p. 67. [Online]. Acedido em: <https://www.bksv.com/media/doc/br1626.pdf>.
- [4] T. Pardal. (2015, Maio 2017). *Consequências da Exposição ao Ruído de Baixa Frequência (RBF)*. Acedido em: <http://blog.safemed.pt/consequencias-da-exposicao-ao-ruído-de-baixa-frequencia-rbf/>
- [5] D. Meldau. (2004). *Ouvido (Info Escola)*. Acedido em: <http://www.infoescola.com/audicao/ouvido/>
- [6] F. A. Everest, *Master Handbook of Acoustics*. 2001.
- [7] C. M. Harris, *Handbook of noise control*. 1979, pp. ---.
- [8] L. C. D. Sutherland, G. A., "Atmospheric Sound Propagation," in *Encyclopedia of Acoustics*, vol. one, M. J. Crocker, Ed. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 1997.
- [9] M. d. A. d. O. d. T. e. d. D. R. MAOTDR, "Decreto-Lei n.º 9/2007 de 17 de Janeiro," ed. Lisboa: INCM, Imprensa Nacional Casa da Moeda, 2007, pp. 389-398.
- [10] R. H. R. a. D. J. M. M.J. Hayne "Prediction of Croud Noise," 2006.
- [11] J. B. Evans, "Community annoyance with sports crowd noise: A case study of the facts in a jury decision," 1990.
- [12] C. o. Seattle, "Sand Point Magnuson Park Drainage, Wetland/Habitat Complex and Sports Fields/Courts Project: Final EIS," 2002.
- [13] B. B. P. D. Corporation, "Brooklyn Bridge Park Project: Draft Environmental Impact Statement (DEIS)," 2005.
- [14] K. T. K. Nishi, M. Shimosaka, "Hourly pedestrian population trends estimation using location data from smartphones dealing with temporal and spatial sparsity," 2014.
- [15] e. a. Science Applications International Corporation, "A Distance-Based Method to Estimate Annual Pedestrian and Bicyclist Exposure in an Urban Environment," 2012.
- [16] A. L. Z. Deng, D. Wang, S. Gao, D. Bai, Y. Yuan, "A Soundscape Analysis to the Historical and Ethnomusicology Area of Ethnic Tourism," 2017.
- [17] PortoXXI.com. (1999). *Ficha de Rua: Rua das Flores*. Acedido em: http://www.portoxxi.com/cultura/ver_edificio.php?id=133
- [18] portopatrimoniomundial.com. (2011-2017). *Centro Histórico do Porto*. Acedido em: <http://www.portopatrimoniomundial.com/rua-das-flores.html>
- [19] G. Maps. (2017). *Rua das Flores*. Acedido em: <https://www.google.pt/maps/@41.1442247,-8.6135084,360m/data=!3m1!1e3?hl=pt-PT>
- [20] L. Aultman-Hall, D. Lane, and R. R. Lambert, "Assessing Impact of Weather and Season on Pedestrian Traffic Volumes," (in English), *Transportation Research Record*, no. 2140, pp. 35-43, 2009.
- [21] K. S. Pearsons, "Effect of Tone-Noise Combination on Speech-Intelligibility," (in English), *Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 61, no. 3, pp. 884-886, 1977.

ANEXO

